

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E**  
**CIÊNCIAS DOS MATERIAIS**

Debora Egea Vieira

Desenvolvimento e avaliação de produtos de limpeza para  
equipamentos de proteção individual e coletivos aplicados na  
manutenção de redes de energia elétrica.

CURITIBA

2014

Debora Egea Vieira

Desenvolvimento e avaliação de produtos de limpeza para equipamentos de proteção individual e coletivos aplicados na manutenção de redes de energia elétrica.

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção de grau de Mestre. Área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Edemir Luiz Kowalski

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Marilda Munaro

CURITIBA

2014

Vieira, Debora Egea

Desenvolvimento e avaliação de produtos de limpeza para equipamentos de proteção individual e coletivos aplicados na manutenção de redes de energia elétrica / Debora Egea Vieira. – Curitiba, 2014.

83 f. : il.; tabs.

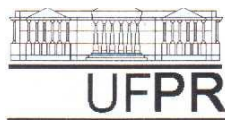
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE.

Orientador: Edemir Luiz Kowalski

Coorientadora: Marilda Munaro

1. Redes elétricas – Manutenção e reparos. 2. Produtos de limpeza - Indústria. 3. Equipamentos de proteção. I. Kowalski, Edemir Luiz. II. Munaro, Marilda. III. Título.

CDD: 667.82

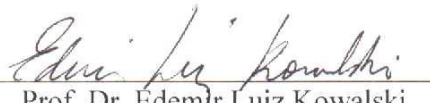


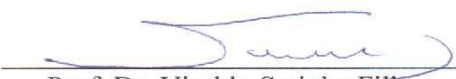
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais- PIPE  
Setor de Tecnologia


### RELATÓRIO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO


Aos trinta dias do mês de maio de 2014, no Auditório do CEHPAR - no Centro Politécnico - UFPR, foi instalada pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Sofia C. M. de Oliveira, coordenadora do PIPE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, a Banca Examinadora para a ducentésima septuagésima quinta defesa de dissertação de mestrado na área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais. Estiveram presentes no ato, além do coordenador do Curso de Pós-Graduação, professores, alunos e visitantes. A Banca Examinadora, atendendo a determinação do colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, foi constituída pelos professores doutores: Prof. Dr. Edemir Luiz Kowalski (UFPR), Vitoldo Swinka Filho (UFPR), Paula Cristina Rodrigues (UTFPR). Às 14:00 horas, a banca iniciou os trabalhos, convidando a candidata **DÉBORA EGEE VIEIRA** a fazer a apresentação da dissertação de mestrado intitulada “**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE PRODUTOS DE LIMPEZA PARA EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL E COLETIVOS APLICADOS NA MANUTENÇÃO DE REDES DE ENERGIA ELÉTRICA**”. Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes. Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela Aprovado do candidato, (de acordo com a determinação dos artigos 68 e 69 da resolução 65/09 de 09.11.2009).

Curitiba, 30 de maio de 2014.

  
Prof. Dr. Edemir Luiz Kowalski  
Orientador

  
Prof. Dr. Vitoldo Swinka Filho  
Examinador

  
Prof.ª Dr.ª Paula Cristina Rodrigues  
Examinador

  
Prof.ª Dr.ª Ana Sofia C. M. d'Oliveira  
Coordenadora do PIPE



## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho*

*À minha mãe Moema Egea R. Vieira*

*Ao meu namorado Jefferson Nardelli.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pois, com ele tudo é possível.

Agradeço primeiramente a minha mãe que pelo amor e incentivo pessoal e emocional.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Edemir Luiz Kowalski e a minha co-orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Marilda Munaro, pela orientação apoio e compreensão para o desenvolvimento deste trabalho

Agradeço ao meu pai Jorge, minha irmã Daniela e meu sobrinho Arthur pelo apoio e amizade.

Agradeço ao meu namorado Jefferson Nardelli pelo amor, apoio, dedicação e incentivo.

Agradeço ao Sensei Celso e ao Sensei Adeir pela ajuda na minha formação pessoal e no karatê.

Agradeço às minhas amigas: Jéssica, Larissa, Kássia, Aline, Francyele e Camila, por toda a ajuda e companhia nesta caminhada.

Agradeço ao Rafael Pires que me ajudou com os ensaios e interpretação dos dados.

Agradeço ao Murilo pela realização das imagens no MEV.

Agradeço à minha amiga Elaine por toda ajuda.

Agradeço ao PIPE e a UFPR pela oportunidade

Agradeço ao LACTEC e a COPEL pelo subsídio deste trabalho.

Agradeço ao CNPq pelo incentivo da Lei 8010/90.

“O oponente mais poderoso está dentro  
de nós mesmos”

(Hidetaka Nishiyama)

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A MANUTENÇÃO DE REDES ENERGIZADAS .....	5
2.2 BORRACHA NATURAL.....	7
2.2.1 Degradação da borracha .....	11
2.3 SURFACTANTES OU AGENTES TENSOATIVOS .....	13
2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	15
2.5 PROPRIEDADES ELÉTRICAS.....	16
2.5.1 Resistividade elétrica .....	17
2.6 ANÁLISES TOPOGRÁFICAS .....	17
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	19
3.2 MÉTODOS.....	21
3.2.1 Coleta das sujidades e forma de limpeza, realizadas em campo. ....	21
3.2.2 Determinação do pH e condutividade das sujidades presentes nos equipamentos .....	23
3.2.3 Determinação do pH e condutividade das sujidades presentes nos equipamentos. ....	24
3.2.4 Determinação do pH e condutividade dos produtos de limpeza. ....	24
3.2.5 Condicionamento das amostras de lençol de borracha isolante comercial. ....	25
3.2.6 Ensaios de tração à ruptura.....	27
3.2.7 Resistividade superficial e volumétrica .....	27
3.2.8 Determinação da absorção do produtos de limpeza pelo elastômero .....	28
3.2.9 Avaliação da superfície das amostras por microscopia .....	29
3.2.10 Desenvolvimento de produtos .....	30
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>32</b>
4.1 DETERMINAÇÃO DO pH E CONDUTIVIDADE .....	32
4.1.1 Determinação do pH e condutividade das sujidades coletadas dos equipamentos de proteção. ....	32

4.1.2	Determinação do pH e condutividade dos produtos de limpeza comerciais.....	33
4.2	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DOS PRODUTOS DE LIMPEZA.....	35
4.3	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS AMOSTRAS POR MICROSCOPIA .....	36
4.3.1	Microscopia óptica .....	36
4.3.2	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	41
4.4	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.....	48
4.5	DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE SUPERFICIAL E VOLUMÉTRICA.....	50
4.6	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	53
4.6.1	Imagens de MEV com a aplicação dos produtos para a formulação .....	53
4.6.2	Produtos selecionados para a formulação.....	64
4.6.3	pH e condutividade dos produtos formulados.....	65
4.6.4	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	66
4.6.5	Tração mecânica .....	68
4.6.6	Resistividade superficial e volumétrica .....	70
4.6.7	Comparativo entre produtos comerciais e o formulado, ensaio de tração mecânica .....	72
4.6.8	Avaliação visual da eficácia de limpeza do produto PD03.....	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplos de equipamentos de proteção utilizados na manutenção em redes energizadas: (a) luvas, (b) manta e (c) mangas.	2
Figura 2: Troca de espaçador de rede compacta com a utilização de vara de manobra.....	6
Figura 3: Exemplo de método de trabalho ao contato.....	6
Figura 4: Exemplo do método de trabalho <i>barehand</i> . O eletricista esta posicionado sobre um andaime isolante confeccionado em fibra e resina. ....	7
Figura 5: Obtenção do látex: a) cortes superficiais na seringueira b) látex sendo extraído [10]. ....	8
Figura 6: Configurações possíveis da unidade monomérica do isopreno; (A) composto <i>cis</i> ; (B) composto <i>trans</i> [13].....	9
Figura 7: Possível estrutura supramolecular da borracha natural não tratada [7].....	10
Figura 8: Esquema de ozonólise para as ligações insaturadas [33].....	12
Figura 9: Curvas de tensão por deformação de alguns materiais poliméricos, A) frágeis, B) termofixos, C) elastômeros D) termofixos abaixo da Tg [28]. ....	16
Figura 10: Mangote de borracha com sujidade evidente na parte interna....	22
Figura 11: Equipamentos de proteção, em processo de limpeza.....	22
Figura 12: diagrama esquemático da extração. ....	23
Figura 13: Equipamentos utilizados na análises. Em a) pHmêtro Digimed modelo DM-22; em b) o eletrôdo combinado de Ag-AgCl com barreira iônica; e em c) condutivímetro Digimed modelo DM-31.....	24
Figura 14: Equipamento INSTRON 4467 .....	27
Figura 15: Equipamento HP 4329 A (High Resistance Meter) dotado de chave seletora e célula de resistividade. ....	28
Figura 16: Balança digital de precisão Shimadzu AX200.....	29
Figura 17: Microscópio óptico Wild Herbrugg.....	29
Figura 18: Microscópios eletrônicos de varredura a) Philips XL30 e b) Tecscan VEJA 3 LMU.....	30
Figura 19: Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do detergente de cozinha neutro: a) c) e) g) antes da aplicação; b) aplicação com algodão; d) aplicação com esponja; f) aplicação com ultrassom; h) 24h em imersão.....	36
Figura 20: Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do produto de limpeza multiuso: a) c) e) g) antes da aplicação; b) aplicação com algodão; d) aplicação com esponja; f) aplicação com ultrassom; h) 24 h em imersão.....	38
Figura 21: Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do Produto importado A: a) c) e) g) antes da aplicação; b) aplicação com algodão; d) aplicação com esponja; f) aplicação com ultrassom; h) 24 h em imersão.....	39

Figura 22: Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do Lenço umedecido importado A: a) c) e) antes da aplicação; b) aplicação com o próprio lenço; d) aplicação em ultrassom: f) aplicação em contato por 24 h. ....	40
Figura 23 Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do Lenço umedecido importado B: a) c) e) antes da aplicação; b) aplicação com o próprio lenço; d) aplicação em ultrassom: f) aplicação em contato por 24 h. ....	41
Figura 24: Imagens da superfície do lençol isolante sem condicionamento com produtos de limpeza, em duas ampliações. ....	42
Figura 25: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de detergente de cozinha neutro com algodão, em duas ampliações. ....	42
Figura 26: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de detergente de cozinha neutro com esponja, em duas ampliações. ....	43
Figura 27: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de detergente de cozinha neutro em ultrassom, em duas ampliações. ....	43
Figura 28: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de detergente de cozinha neutro em ultrassom, em duas ampliações. ....	43
Figura 29: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação do produto de limpeza multiuso com algodão, em duas ampliações. ....	44
Figura 30: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação do produto de limpeza multiuso com esponja, em duas ampliações. ....	44
Figura 31: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação do produto de limpeza multiuso em ultrassom, em duas ampliações. ....	44
Figura 32: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação do produto de limpeza multiuso 24 horas em imersão, em duas ampliações.....	45
Figura 33: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação do produto importado A com algodão, em duas ampliações. ....	45
Figura 34: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação do produto importado A com esponja, em duas ampliações. ....	45
Figura 35: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação do produto importado A em ultrassom, em duas ampliações. ....	46
Figura 36: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação do produto importado A em imersão por 24 horas, em duas ampliações. ....	46
Figura 37: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação direta do lenço umedecido importado A, em duas ampliações.....	46
Figura 38: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação por ultrassom no lenço umedecido importado A, em duas ampliações. ....	47
Figura 39: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação por imersão no lenço umedecido importado A, em duas ampliações. ....	47
Figura 40: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação direta do lenço umedecido importado B, em duas ampliações.....	47

Figura 41: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação por ultrassom do lenço umedecido importado <i>B</i> , em duas ampliações. ....	48
Figura 42: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação por imersão do lenço umedecido importado <i>B</i> , em duas ampliações. ....	48
Figura 43: tensão de ruptura em função do tempo de imersão em horas, com a borracha nos produtos comerciais. ....	49
Figura 44: alongamento em função do tempo de imersão em horas com a borracha nos produtos comerciais. ....	49
Figura 45: Variação da resistividade superficial em função do tempo de imersão da borracha nos produtos comerciais. ....	51
Figura 46: Variação da resistividade volumétrica em função do tempo de imersão da borracha nos produtos comerciais. ....	52
Figura 47: Imagens da superfície do lençol isolante sem condicionamento com produtos de limpeza. ....	53
Figura 48: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de dietanolamina 5%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ....	54
Figura 49: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com dodecil sulfato de sódio 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ....	55
Figura 50: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com etileno glicol 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ....	56
Figura 51: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com glicerina 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ...	57
Figura 52: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com álcool isopropílico 8,5%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ....	58
Figura 53: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com vaselina líquida sem diluição: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ....	59
Figura 54: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com acetona 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ...	60
Figura 55: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com álcool cetosteárilico 2%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ....	61



Figura 56: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com E.D.T.A. 1%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ...	62
Figura 57: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com trietanolamina 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão. ....	63
Figura 58: Imagens da superfície do lençol isolante sem o condicionamento com produtos de limpeza. ....	66
Figura 59: Imagens da superfície do lençol isolante com a aplicação da formulação PD01. ....	67
Figura 60: Imagens da superfície do lençol isolante com a aplicação da formulação PD02. ....	67
Figura 61: Imagens da superfície do lençol isolante com a aplicação da formulação PD03. ....	68
Figura 62: Tensão de ruptura em função do tempo de imersão da borracha nos produtos formulados. ....	69
Figura 63: Alongamento em função do tempo de imersão da borracha nos produtos formulados. ....	70
Figura 64: Resistividade superficial em função da imersão do lençol de borracha com os produtos formulados.....	71
Figura 65: Resistividade volumétrica em função da imersão do lençol de borracha com os produtos formulados.....	72
Figura 66: Variação da tensão de ruptura em função do tempo da borracha nos produtos formulados comerciais e o formulado.....	73
Figura 67: Variação do alongamento em função do tempo de imersão da borracha nos produtos formulados comerciais e o formulado. ....	73
Figura 68: Variação da resistividade superficial em função do tempo de imersão da borracha nos produtos comerciais e o formulado. ....	74
Figura 69: Variação da resistividade volumétrica em função do tempo de imersão da borracha nos produtos comerciais e o formulado. ....	75
Figura 70: Limpeza do lençol de borracha isolante, a) amostra com sujidade, b) amostra em processo de limpeza e c) amostra com após a realização da limpeza. ....	76

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Resultados de pH e condutividade das sujidades retiradas dos equipamentos usados em campo.....	32
Tabela 2: Resultados de pH e condutividade das sujidades retiradas dos equipamentos usados em campo.....	33
Tabela 3: Resultados de absorção dos produtos de limpeza para as amostras de lençol isolante .....	35
Tabela 4: Resultados de pH e condutividade dos produtos formulados.....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

EPI - Equipamento de proteção individual

EPC – Equipamento de proteção coletiva

ASTM – American Society for Testing and Materials

NBR - Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas

°C – Unidade de temperatura, grau Celsius

cm – Unidade de medida centímetro

mm – Unidade de medida milímetro

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

k – Prefixo para unidade de medição, quilo ou Constante de Boltzmann;

V – Tensão aplicada, unidade de tensão volts

Kg – unidade de medida quilo grama

EDX – Energy Dispersive xRay

$L_0$  – Medida inicial

MPa – Unidade de tensão mecânica, mega pascal

$\rho$  – Resistividade elétrica

$\Omega$  – Unidade resistência ohm

PD01 – Sigla do produto formulado 1

PD02 – Sigla do produto formulado 2

PD03 – Sigla do produto formulado 3

$M_p$  – Massa do elastômero antes da absorção

$M_i$  – Massa do elastômeros após a absorção

S – Grau de absorção

## RESUMO

A manutenção de redes energizadas ocorre com frequência e sempre é necessária a segurança das equipes de eletricitistas. Esta segurança é realizada com a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) e equipamentos de proteção coletiva (EPC's), produzidos com material isolante. Para garantir o funcionamento correto destes equipamentos de segurança eles passam por testes periódicos. Tem-se observado nestes testes que parte dos equipamentos são descartados precocemente. Há indícios que o descarte pode ser devido à manutenção e limpeza inadequada destes equipamentos, já que na literatura não tem-se referencias que caracterizem a interação de produtos de limpeza com elastômeros (borracha natural) que é a principal matéria prima dos equipamentos. Neste trabalho realizou-se um estudo da interação de diversos produtos de limpeza comerciais atualmente aplicados na higienização dos EPI's e EPC's por meio de técnicas de caracterização de materiais, foram realizados ensaios mecânicos (tração e alongamento) e elétricos (resistividade superficial e volumétrica), os quais apresentaram resultados que podem demonstrar que a aplicação de produtos de limpeza inadequados é um fator de degradação. Análises microscópicas demonstraram que a metodologia de limpeza também é um fator que influencia no processo. Os resultados obtidos mostraram que é importante o desenvolvimento de um produto que realize a limpeza dos equipamentos sem alterar suas características. Foi possível o desenvolvimento deste produto a partir do direcionamento realizado pela caracterização da interação de produtos de limpeza comerciais, e a eficácia do produto foi comprovada pelos ensaios mecânicos, elétricos e sua aplicação na limpeza de EPI's e EPC's. O estudo foi conduzido sobre amostras retiradas de lençol isolante confeccionado em borracha natural, por este ser o equipamento mais sensível a interações com agentes externos quando comparados aos demais equipamentos.

Palavras chave: redes energizadas, equipamentos de proteção individual e coletiva, borracha natural, produtos de limpeza, desenvolvimento de produto.

## **ABSTRACT**

The maintenance of the electricity network occurs frequently and is always necessary security teams of electricians. This security is accomplished with the use of personal protective equipment (PPE) and collective protection equipment (CPE), made with insulating material. To ensure correct operation of such safety equipment they undergo testing. It has been noted that these tests are part of the equipment being discarded prematurely. There is evidence that the disposal may be due to improper cleaning and maintenance of this equipment, because the literature has become references that characterize the interaction of cleaning products with elastomers (natural rubber), which is the main raw material of the equipment . This work was carried out a study of the interaction of many commercial cleaners currently applied in the cleaning of PPE and CPE through techniques of materials characterization, mechanical testing (tensile and stretching) and electrical (surface and volume resistivity) were conducted which presented results that can demonstrate that the application of unsuitable cleaning agents is a degradation factor. Microscopic analysis showed that the method of cleaning is also a factor influencing the process. The results showed that it is important to develop a product that performs cleaning of equipment without changing its characteristics. Could the development of this product from the direction performed by characterizing the interaction of commercial cleaning products and efficacy of the product was confirmed by mechanical, electrical tests and its application in cleaning of PPE and CPE. The study was conducted on samples from insulating blanket made of natural rubber, because this is the most sensitive equipment to interactions with external agents when compared to others equipment's.

**Keywords:** Energized networks, personal and collective protection equipment, and natural rubber, cleaning products, product development.

## 1 INTRODUÇÃO

As manutenções de redes energizadas ocorrem para não haver o desligamento da rede, e não interromper o fornecimento de energia à população, reduzindo custos administrativos e inconvenientes aos clientes [1].

Para serem realizadas as manutenções, os eletricitistas que executam os serviços na rede de energia elétrica, devem utilizar EPI's (equipamentos de proteção individual) e EPC's (equipamentos de proteção coletiva), que são confeccionados com materiais poliméricos, sendo eles: borracha natural e sintética, utilizados na produção de luvas, mangas e lençóis sendo que mangas e luvas isolantes são colocadas no operador e o lençol é aplicado sobre cabos e cruzetas. Equipamentos como as coberturas de condutor são fabricadas polietileno de alta densidade, e varas de manobra em resinas e fibra de vidro são aplicadas para a manutenção e operação de dispositivos da rede á longa distância ou para a instalação de itens de segurança nos cabos condutores [2].

Os equipamentos acima citados são produzidos com materiais que possuem alta capacidade de isolamento elétrico para garantir a segurança das equipes de trabalhadores de redes energizadas que atuam na manutenção preventiva e corretiva dos alimentadores e ramais primários de média e baixa tensão da rede de distribuição. Esses sistemas garantem o fornecimento de energia elétrica aos centros industriais, comerciais e residenciais na área de distribuição de energia [3,4].

Os principais dispositivos utilizados pelos trabalhadores; produzidos com borracha natural (lençóis), luvas e mangas com borracha sintética são mostrados na Figura 1.

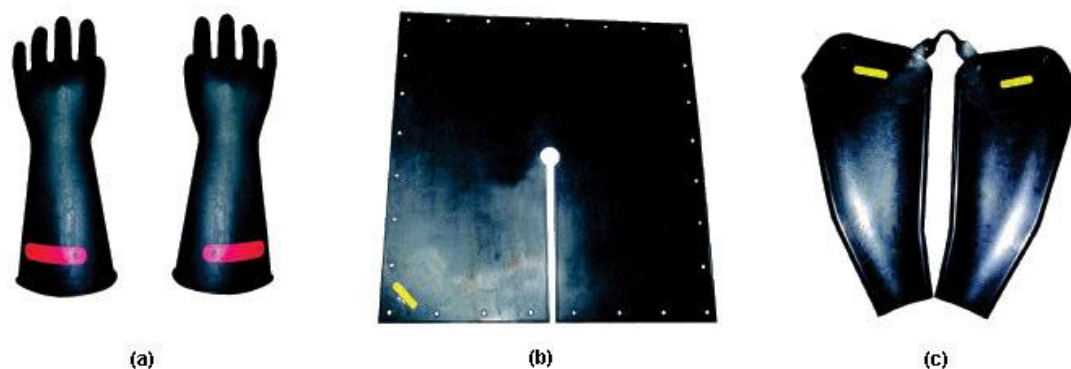


Figura 1: Exemplos de equipamentos de proteção utilizados na manutenção em redes energizadas: (a) luvas, (b) manta e (c) mangas.

Como as equipes de manutenção de redes energizadas executam tarefas preventivas e corretivas com as redes energizadas, ou seja, com o sistema elétrico ligado, é necessária a utilização das ferramentas e equipamentos de segurança pelos eletricitistas. Antes e após a execução das atividades em redes energizadas, os eletricitistas devem realizar a manutenção dos EPI's e EPC's utilizados, onde, esta é basicamente constituída pela limpeza das ferramentas para a remoção de resíduos, impurezas e suor, buscando evitar os processos de degradação do material e danos à saúde do usuário. Os produtos normalmente utilizados neste processo de limpeza não são produtos desenvolvidos propriamente para esta aplicação. Como resultado além de não produzirem os efeitos esperados na remoção das sujidades não há estudos ou dados dos fabricantes que demonstrem a compatibilidade dos produtos de limpeza com os materiais usados na confecção das ferramentas, onde possivelmente a incompatibilidade destes pode reduzir a durabilidade dos equipamentos. A forma de armazenamento, tempo de uso e a exposição ao meio ambiente também provocam a degradação e/ou envelhecimento do material, alterando as propriedades isolantes da ferramenta, bem como suas propriedades mecânicas. Sendo assim, tais fatores podem colocar em risco a vida do trabalhador [5]. Estes equipamentos devem isolar eletricamente todas as partes do conjunto onde se trabalha, assim a funcionalidade destes é avaliada periodicamente através de inspeções visuais e análises de qualidade elétrica, para garantir a saúde e a segurança dos trabalhadores. Quando um equipamento não atender às normas, o mesmo deve ser descartado para não

ser mais utilizado. Atualmente, segundo dados das concessionárias de energia os equipamentos estão sendo descartados precocemente, pois, sua duração deveria ser em torno de 8 anos segundo os fabricantes e atualmente parte destes duram aproximadamente 1 ano, o que torna extremamente necessário um estudo para avaliar possíveis causas, já que além do alto custo dos equipamentos também há o desperdício das matérias primas retiradas da natureza e o aumento do descarte de resíduos. [6,7].

Na literatura não são encontrados estudos referentes à compatibilidade da borracha natural com produtos de limpeza, apenas há instruções por parte dos fabricantes e em algumas normas técnicas que recomendam que a limpeza deve ser realizada com água ou detergentes neutros, não havendo um embasamento científico que referenciem interações.

Neste projeto de pesquisa será realizado o estudo e a caracterização da interação de produtos de limpeza disponíveis comercialmente e aplicados pelas concessionárias de energia com a borracha natural, aplicada na confecção de lençóis isolantes, e com os resultados obtidos pretende-se indicar o desenvolvimento de um produto adequado.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar e desenvolver produtos de limpeza para equipamentos de proteção individual e coletivos aplicados na manutenção de redes de energia elétrica.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar em campo, acompanhamento da limpeza dos equipamentos (EPI's e EPC's), e levantar os produtos e métodos utilizados pela concessionária, bem como coleta de amostras de sujidades encontradas nestes equipamentos.

Avaliar a degradação causada pela aplicação de produtos de limpeza comerciais em equipamentos elastoméricos utilizados na manutenção de redes energizadas de distribuição de energia elétrica.



Avaliar a compatibilidade físico-química dos produtos de limpeza encontrados no mercado nacional e estrangeiro, quando aplicados na limpeza de equipamentos elastoméricos de segurança utilizados na manutenção de redes energizadas de distribuição de energia elétrica.

Aplicar os produtos de limpeza nos equipamentos de segurança elastoméricos utilizados na manutenção de redes energizadas de distribuição de energia elétrica e avaliar através de ensaios mecânicos, elétricos e visuais, o efeito sobre amostras retiradas do equipamento.

Desenvolver produtos de limpeza que sejam compatíveis com os equipamentos de segurança elastoméricos utilizados na manutenção de redes energizadas de distribuição de energia elétrica.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A MANUTENÇÃO DE REDES ENERGIZADAS

As ferramentas e equipamentos utilizados na manutenção de em redes energizadas devem ser manuseadas por pessoas treinadas e que cumpram as normas de segurança impostas pelas concessionárias de energia e pelo ministério do trabalho [8]. Os eletricitas que executam estas atividades utilizam para a sua segurança e isolamento elétrico os denominados equipamentos de proteção individual (EPI's) e os equipamentos de proteção coletiva (EPC's), aplicados nos isolamentos das partes energizadas ou aterradas, que podem ser pontos de contato do eletricitista ou outros equipamentos durante a realização da atividade.

Os EPI's e EPC's são produzidos com borracha natural e ou sintética, que como referenciado anteriormente são utilizados na fabricação de luvas, mangas, mantas e lençóis. O polietileno de alta densidade é aplicado na confecção de coberturas de cabos condutores; resinas e fibra de vidro são utilizadas para produzir as varas de manobra que servem para a manutenção á longa distância ou para a instalação de itens de segurança nos cabos condutores [9].

As concessionárias de energia elétrica dispõem de inúmeras atividades de manutenção que são executadas em diferentes classes de tensão e diversos tipos de instalações elétricas, como por exemplo, linhas de transmissão, subestações e redes de distribuição. Para cada atividade tem-se um conjunto de ferramentas, EPI's e EPC's específicos, bem como métodos de trabalho [9].

A manutenção do sistema elétrico dispõe de três métodos de trabalho em redes energizadas, aplicados em várias classes de tensão, sendo obrigatoriamente, operadas por equipes treinadas e equipadas com os ferramentais. Os métodos de trabalhos são descritos a seguir:

1º Método –Trabalho à distância

Neste método o eletricista executa as operações com o auxílio de ferramentas montadas na extremidade das varas de manobra. Com este método é possível trabalhar em todas as classes de tensões [9].



Figura 2: Troca de espaçador de rede compacta com a utilização de vara de manobra.

## 2º Método – Trabalho ao Contato

Este método consiste em proteger o eletricista com os EPI's necessários, (luvas, mangas, capacete, calçado, roupa especial e óculos), pois, o eletricista é posicionado com escadas, cestas aéreas ou andaimes, e executa os serviços com as mãos. As partes constituintes da rede que estão energizadas, como cabos condutores, chaves fusível entre outras e partes consideradas aterradas, como cruzetas, postes e ferragens da estrutura também devem ser isolados com os EPC's, sendo estes coberturas isolantes e lençóis, pois, as mesmas podem durante o serviço receber contatos eventuais dos eletricistas ou ferramentas, podendo causar curtos circuitos. Este método é somente utilizado em redes com tensão até 35 kV [9].



Figura 3: Exemplo de método de trabalho ao contato.

Na Figura 3 Observa-se sobre os cabos condutores as coberturas rígidas de condutor. Acima da cabeça do eletricista à direita observa-se as coberturas circulares rígidas. Os dois cestos em que os eletricistas se encontram também é isolado e fabricado em fibra de vidro e resina.

### 3º Método – Trabalho ao Potencial (*barehand*)

O trabalho ao potencial é baseado no princípio da gaiola de Faraday e consiste no contato direto do eletricista com o condutor energizado. Este método permite a manutenção em linhas de transmissão de alta e extra-alta tensão, normalmente tensões a partir de 60 kV. Para se proteger contra efeito do campo elétrico, o eletricista usa uma vestimenta condutiva com tecido a base de aramida e filamento de aço inox, onde, apenas a face fica descoberta. O eletricista conecta esta vestimenta ao condutor e assim estará no mesmo potencial da instalação, não havendo diferença de potencial elétrico entre o eletricista e o cabo ao qual ele esta conectado, sem circulação de corrente elétrica [9].

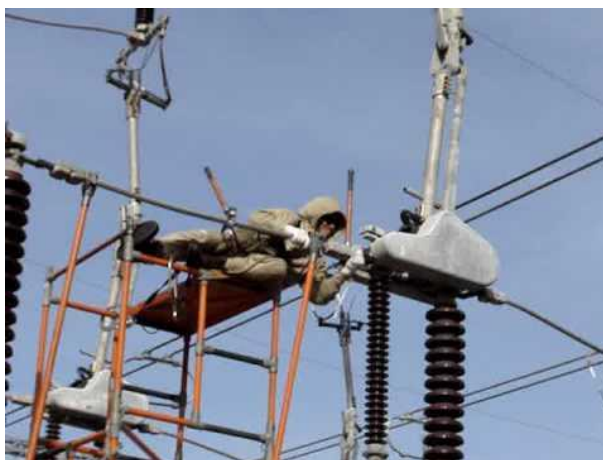


Figura 4: Exemplo do método de trabalho *barehand*. O eletricista esta posicionado sobre um andaime isolante confeccionado em fibra e resina.

## 2.2 BORRACHA NATURAL

A borracha natural é um polímero obtido do látex, extraído da seringueira, árvore de grande porte pertencente à família *Euphorbiaceae*, do gênero, *Havea* (seringueira) e tem como seu centro de origem a região

Amazônica. A seringueira é uma espécie arbórea de crescimento rápido, podendo atingir até 30 metros de altura, em condições favoráveis. Aos quatro anos inicia a produção de sementes, e aos sete anos a produção do látex, que é extraído com cortes inclinados, feitos no casco e no tronco das seringueiras, sendo coletado com pequenos recipientes fixados nas extremidades inferiores do corte conforme mostrado na Figura 5: a) e b) [10].

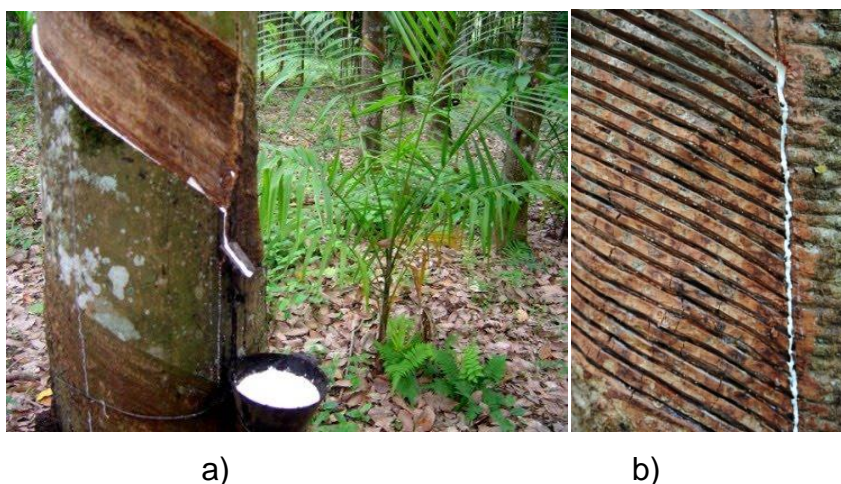


Figura 5: Obtenção do látex: a) cortes superficiais na seringueira b) látex sendo extraído [10].

A composição do látex ocorre em média com 35% de hidrocarbonetos, destacando-se o 2-metil-1,3-butadieno ( $C_5H_8$ ) comercialmente conhecido como isopreno, o monômero da borracha. O látex é praticamente neutro, com pH 7,0 a 7, 2, mas quando exposto ao ar por um período de 12 a 24 horas o pH cai para 5,0 e apresenta, coagulação espontânea, formando o poli(1,4 *cis* isopreno), representado por  $(C_5H_8)_n$ , onde  $n$  é o grau de polimerização. O látex natural possui massa molecular média de 600.000 a 950.000 g/mol, além dos hidrocarbonetos e é constituído por outras substâncias tais como proteínas, lipídeos, aminoácidos e água, entre outros [10,11].

A estrutura e composição química da borracha natural é a *cis*-1,4 poliisopreno. Existe também na natureza o isômero *trans*-1,4-poliisopreno que constitui a guta-percha e a balata, materiais termoplásticos, que à temperatura ambiente, são muito mais duros e rígidos que a borracha natural [12].

Quando átomos de carbono estão ligados por ligações duplas, as outras ligações duplas que fazem parte da cadeia principal de um elastômero estão ainda ligadas ao restante da cadeia, a um grupo metila ou a um átomo de hidrogênio. No caso da borracha natural, estão ligadas a dois átomos de hidrogênio e nos polímeros de butadieno a um átomo de hidrogênio. Se esses dois substituintes estiverem situados do mesmo lado de um plano definido pela ligação dupla, o composto resultante é chamado *cis* Figura 6 a), e se estão orientados em lados opostos, é chamado de *trans* Figura 6 b) [13].

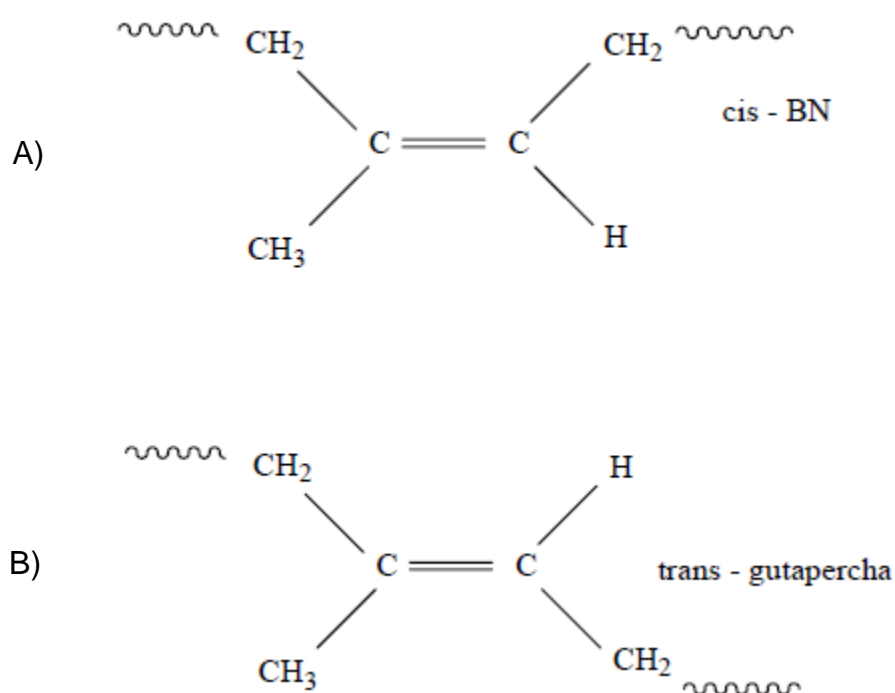


Figura 6: Configurações possíveis da unidade monomérica do isopreno; (A) composto *cis*; (B) composto *trans* [13].

Os entrecruzamentos observados no látex não tratado, mostrados na Figura 7 podem ser atribuídos às proteínas e aos lipídios. Em torno de 5% a 7% das terminações de cadeias possuem proteínas e lipídios, responsáveis pelo entrecruzamento natural das cadeias moleculares. Aproximadamente 93% a 95% das cadeias não possuem estes grupos terminais [10,14].

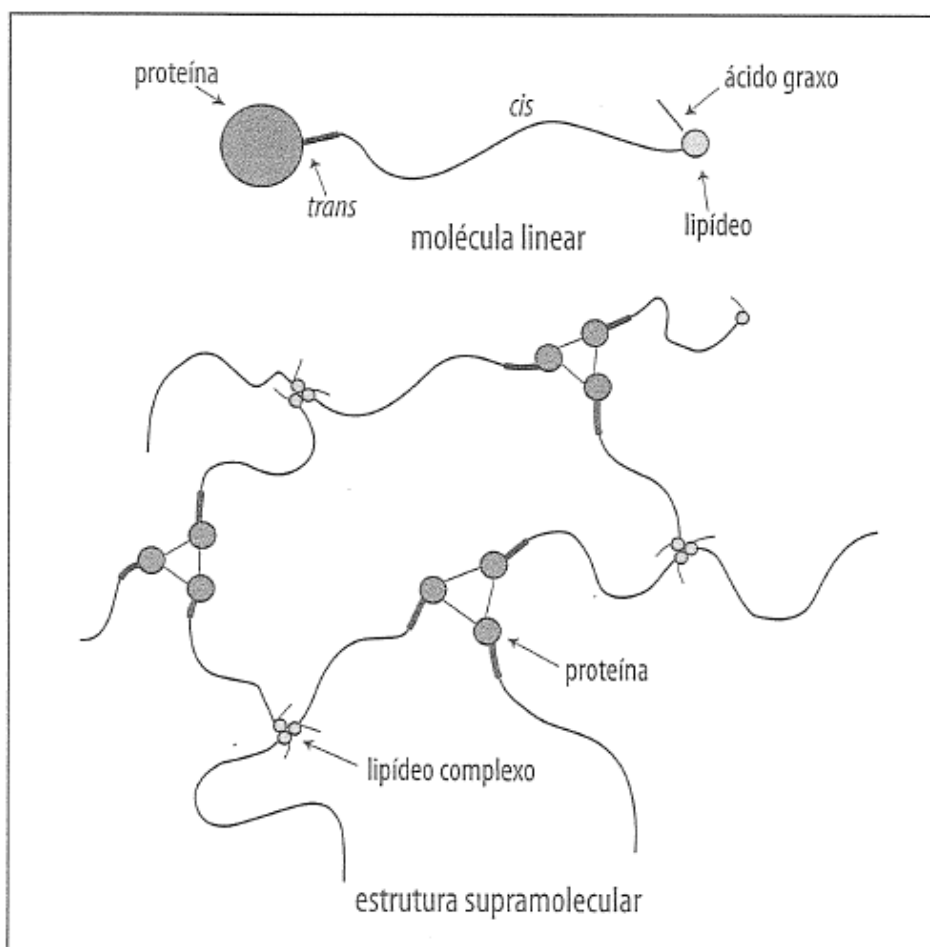


Figura 7: Possível estrutura supramolecular da borracha natural não tratada [7].

Por ter em sua composição substâncias que não é somente o látex, ele é um produto perecível se não for tratado. Para obter a borracha natural com as propriedades e qualidade desejada, é necessária a coagulação e secagem onde é realizado um aquecimento e deve-se proceder a adição de cargas e aditivos e a seguir deve ser disperso homogeneamente na matriz [15].

As cargas e aditivos adicionados são, na maioria das vezes o enxofre, óxido de zinco, ácido esteárico, aceleradores orgânicos, anti-ozonantes e anti-oxidantes, agentes de fluxo, plastificantes, esponjantes e cargas minerais entre as quais destaca-se a mica e o negro de carbono, utilizados para aumentar a dureza, reduzir custos e proteger contra a degradação causada por raios ultravioletas [16,17,18,19,20].

O processo de mistura é realizado por meio de misturador fechado (*Bambury*), onde as propriedades finais do composto são influenciadas pela pressão, temperatura e tempo de mistura, bem como a ordem de adição das

cargas e aditivos. Após a mistura, segue-se a moldagem, onde por meio de moldes em processos contínuos quando através de extrusão, ou intermitente na termoprensagem, dá-se a forma final ao material [21].

A vulcanização é o processo final que confere as características desejadas ao produto, podendo fazer parte da moldagem como no caso da termoprensagem [22,23].

A borracha natural é uma matéria-prima agrícola importante, utilizada em indústrias como a pneumática, a de autopeças, e de produtos bélicos. É utilizada também em artefatos leves como luvas cirúrgicas, preservativos, chupetas, solados e couro vegetal e, recentemente, como biomaterial para aplicação médica [24,25,26,27].

### **2.2.1 Degradação da borracha**

O arranjo *cis* das cadeias poliméricas conferem a borracha natural elevada elasticidade e flexibilidade, resultando em um material com boas propriedades de resistência a tração, resiliência e de isolamento elétrico. No entanto, é bastante suscetível à degradação por calor e oxidação [28,29]. A vulcanização do material por peróxidos ou enxofre, adicionando cargas, antiozonantes e antioxidantes é realizada visando a melhora das suas propriedades mecânicas, de resistência ao calor e à oxidação [30].

A ruptura das ligações cruzadas do polímero por calor ou qualquer outro meio, implicam na degradação do material polimérico. Ao entrar em contato com o solvente, por exemplo, as cadeias poliméricas absorvem as moléculas deste, causando o inchamento do material. Quanto maior a densidade de ligações cruzadas, menor será o espaço disponível para a penetração das moléculas do solvente e menor será o grau de inchamento [31].

Como qualquer composto orgânico, a borracha natural está suscetível à degradação por intempéries, como, por exemplo, a radiação e oxidação, alterando assim as propriedades iniciais do material, devido às mudanças na estrutura ou morfologia. O processo de envelhecimento depende das condições de uso do material (fatores ambientais, tensão mecânica e elétrica, utilização entre outros) e do tempo de exposição aos agentes degradantes [32].



O principal processo de degradação dos elastômeros é a oxidação, onde há a reação de radicais livres com o oxigênio. Outro fator de degradação é a ozonólise (reação do ozônio com as duplas ligações das cadeias poliméricas). A degradação ocorre, pois, os agentes citados fazem com que ocorra a quebra de cadeias se há a aplicação de temperatura, o processo irá ocorrer de forma acelerada. Se o processo de degradação predominante for a quebra das cadeias poliméricas, irá ocorrer redução do peso molecular e viscosidade, entretanto se for a reticulação, irá ocorrer o aumento do peso molecular e aumento da rigidez do material. Estes fenômenos irão alterar as propriedades dos elastômeros (mecânicas, elétricas e visuais), e muitas vezes irá tornar o material ineficaz para a sua utilização [33,34].

Densidade elevada nas ligações cruzadas faz com que ocorra um aumento na resistência à degradação por ozônio, pois há uma redução da mobilidade das cadeias poliméricas, dificultando assim a difusão do gás no material, aumentando a proteção ao ataque do ozônio [35].

Um possível esquema dessa reação está representado na Figura 8:

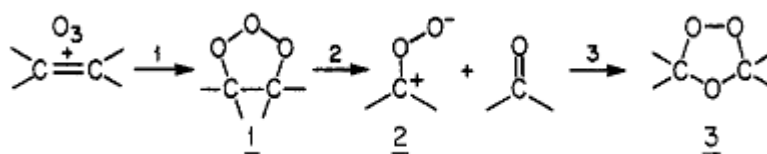


Figura 8: Esquema de ozonólise para as ligações insaturadas [33].

O ozônio reage com a dupla ligação entre carbonos, como observado na Figura 8 em 1, formando um aldeído e um óxido carbonil, representado na Figura 8 em 2. A recombinação desses produtos é o resultado da ozonólise, chamado de ozonídeo, mostrado na Figura 8 em 3.

Como resultado da ozonólise da borracha natural, há uma redução da massa molecular, resistência mecânica, isolamento elétrico, flexibilidade e elasticidade [36,37,38].

Dependendo do tipo de borracha, essas reações levam tanto à cisão de cadeia quanto à formação de novas ligações cruzadas. O aumento na densidade de ligações cruzadas leva ao aumento na rigidez do polímero e a combinação de ambos os fenômenos resulta na formação de microfissuras. A degradação da

borracha natural é intensificada na presença de radiação solar, umidade e calor [39].

As borrachas naturais e derivadas de butadieno são susceptíveis a ataque químico por óleos lubrificantes, combustíveis e fluidos hidráulicos. É muito complexa as compreensões das reações químicas, pois, estes fluidos são misturas que contém muitos componentes e variam conforme o fabricante. Borrachas nitrílicas possuem energia de ligação muito mais alta do que a borracha natural, sendo o teor relativo de acrilonitrila e butadieno determinantes na resistência ao ataque químico e a degradação oxidativa [40].

Outro aspecto importante da degradação da borracha é a migração de óxidos metálicos para o seu interior, e também poluentes na forma gasosa ( $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_2$ ) onde nestes casos também é difícil de individualizar as reações químicas devido a complexidade de misturas que são encontradas na atmosfera e em locais poluídos. Estes óxidos e gases aceleram a degradação [41,42].

Os aditivos são muito utilizados na borracha natural tendo características antidegradantes. Esses aditivos dão ao elastômero uma proteção química contra a degradação por oxigênio, ozônio, radiação entre outros [43,44].

## 2.3 SURFACTANTES OU AGENTES TENSOATIVOS

Surfactantes ou agentes tensoativos são os detergentes (agentes de limpeza) que atuam reduzindo a tensão superficial, que é uma propriedade dos líquidos relacionada com as forças de atração e repulsão entre as moléculas. Quanto maior forem as forças de atração existentes entre as moléculas dos líquidos, maior será a tensão superficial. A tensão superficial pode ser fisicamente explicada como a energia na forma de trabalho necessária para expandir a superfície de um líquido. [45]

As moléculas que constituem os agentes de limpeza possuem características polares, que permite maior interação com a água, e apolar que permitirá a interação com as substâncias encontradas nas sujidades. Estes compostos formados são denominados anfifílicos, ou seja, possuem em sua estrutura química uma parte polar hidrofílica e outra parte apolar hidrofóbica e lipossolúvel que irá interagir com óleos e gorduras. Quando estas moléculas

entram em contato com líquidos, dissolvem-se, pois interagem com as suas moléculas. Ocorre redução nas interações entre as moléculas do líquido dissolvido e assim reduz sua tensão superficial, sendo por isto, que esses agentes são chamados de agentes tensoativos e como efeito observa-se a formação de espuma. O poder espumante é ligado ao efeito detergente, mas a espuma nem sempre está ligada á eficiência de limpeza, muitas vezes a capacidade espumante é devido a adição de agentes espessantes ao produto final, o que faz com que o produto reduza a tensão superficial produzida e não ocorra a quebra das moléculas necessárias para a remoção das sujidades. [46].

Os agentes tensoativos possuem tipicamente estruturas R-X, onde R é uma cadeia de hidrocarbonetos variando de 8 a 18 átomos sendo na maioria das situações, linear, e X é o grupo polar [47]. Dependendo dos grupamentos polares os tensoativos podem ser classificados em:

**Aniônicos:** possuem grupo hidrofílico carregado negativamente. Apresentam em grande maioria excelentes propriedades detergentes, e são os mais utilizados. Possuem sais de ácidos carboxílicos (graxos) monopróticos ou polipróticos com metais alcalinos ou alcalinos terrosos, ácidos como o sulfúrico, sulfônico, e fosfórico contendo um substituinte de hidrocarboneto saturado ou insaturado [48].

**Catiônicos:** possuem grupo hidrofílico carregado positivamente. Apresentam fraco poder detergente, mas possuem importantes propriedades bactericidas e germicidas. Em geral apresentam a fórmula  $R_n X^+ Y^-$ , R, onde representa uma ou mais cadeias hidrofóbicas, X um elemento capaz de formar uma estrutura catiônica podendo ser: N, P, S, As, Te, Sb, Bi, e os halogênios, e Y é um contra íon [49,50].

**Não iônicos:** não apresentam radicais com cargas em suas moléculas. Interagem com a água por ligações de hidrogênio. São derivados do polioxietileno e polioxipropileno (de compostos com alquil fenol e álcool, ésteres de ácidos graxos, alquilaminas, amidas e mercaptanas), ou polialcoóis, ésteres de carboidratos, amidas de alcoóis graxos e óxidos de amidas graxas. Suas formulações caracterizam-se com baixa formação de espuma, mas são adequados para remoção de sujeira por lavagem [51].

**Anfóteros:** a molécula desta classe contém grupos hidrófilos positivos e negativos, ou seja, possuem, ambos, grupos aniônicos e catiônicos no meio hidrofóbico, e dependendo do pH da solução e da estrutura, pode prevalecer a espécie aniônica, catiônica ou neutra. Os tensoativos anfóteros mais comuns incluem: N – alquil e C – alquil betaína e sultaína como também álcool amino fosfatidil e ácidos [52].

## 2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas são de grande importância para a caracterização de materiais poliméricos e elastoméricos. Entre os ensaios realizados para a caracterização mecânica tem-se a tração á ruptura pela qual se obtém curvas do tipo tensão versus deformação. O ensaio deve ocorrer em condições controladas, tais como temperatura, umidade e velocidade constantes [53].

As propriedades mecânicas dos elastômeros são alteradas pelo: envelhecimento ou degradação, que causam mudanças na estrutura ou na morfologia destes materiais, peso molecular, ramificações e ou entrecruzamentos, cristalinidade e morfologia dos cristais, plastificação, polaridade e orientação molecular. O grau de envelhecimento depende de muitos fatores incluindo tipo de polímero, formulação, geometria do corpo de prova do produto em teste, utilização e condições ambientais [54].

Os ensaios de tração geram resultados como curvas do tipo tensão *versus* deformação. Durante o ensaio a tensão suportada pelo material e a deformação a ele imposta são registrados. Os registros são obtidos através da aplicação constante de uma solicitação ao material sob condições controladas, geralmente deformação a velocidade constante, até a ruptura do material ou até que a tensão ou deformação alcance um valor pré-estabelecido.

Os comportamentos dos materiais dependem da escala de tempo e da temperatura do ensaio. O comportamento deformacional de polímeros, pode ser: fluxo viscoso: onde a deformação do polímero é irreversível e está associada a movimentos de deslizamento das cadeias poliméricas; elasticidade da borracha: onde a liberdade local do movimento associado com movimentos

de segmentos de cadeias poliméricas em pequena escala é restringida. Neste fenômeno existe baixíssima deformação permanente; Viscoelasticidade: onde a deformação do polímero é parcialmente reversível, porém dependente do tempo. Esta associada com a distorção das cadeias poliméricas em relação à suas conformações de equilíbrio, através de movimentos de segmentos de cadeia molecular do polímero envolvendo as ligações primárias da cadeia; Elasticidade Hookeana: onde os movimentos dos segmentos de cadeia são restritos e envolvem somente estiramentos e deformações angulares das ligações primárias das cadeias do polímero [42].

Há uma grande variedade de polímeros, pois, suas características e estrutura química são diferentes, contudo, o comportamento de tensão de deformação podem ser representados esquematicamente conforme Figura 9.

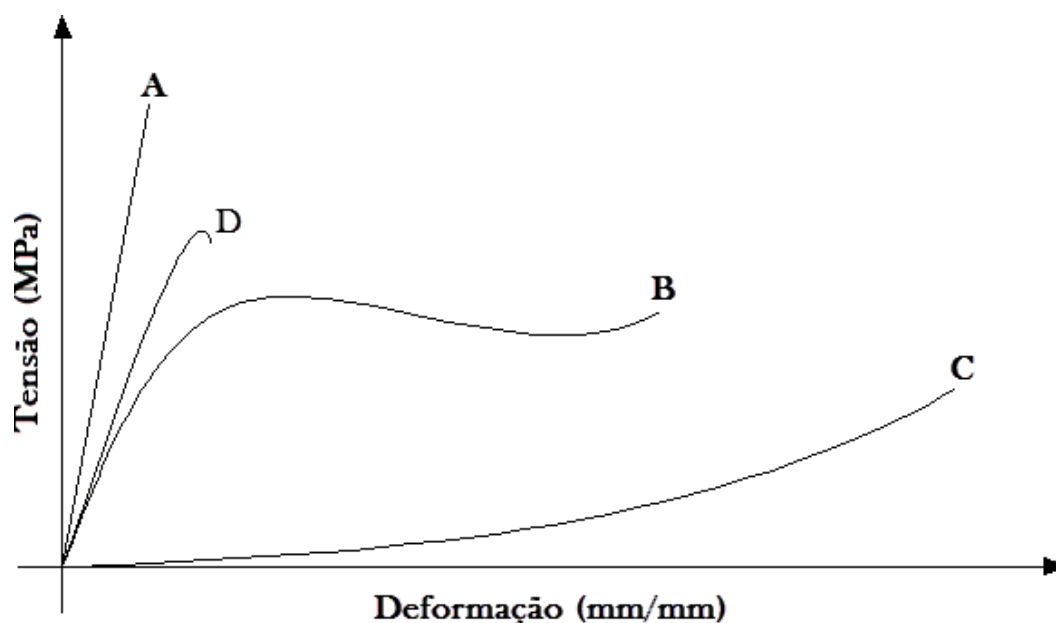


Figura 9: Curvas de tensão por deformação de alguns materiais poliméricos, A) frágil, B) termofixos, C) elastômeros ex: látex D) termofixos abaixo da T<sub>g</sub> [28].

## 2.5 PROPRIEDADES ELÉTRICAS

As propriedades elétricas dos materiais são obtidas pelo comportamento obtido em resposta à aplicação de um campo elétrico externo e sendo que esta resposta define as propriedades elétricas dos materiais. Estas propriedades dependem de características intrínsecas, dentre elas, a configuração eletrônica, tipo de ligação química, e sua estrutura [55].

### 2.5.1 Resistividade elétrica

Resistividade Elétrica  $\rho$  também denominada resistência elétrica específica é uma medida da oposição que um material oferece ao fluxo de corrente elétrica. Quanto mais baixa for a resistividade mais facilmente o material permite a passagem da carga elétrica. Depende das dimensões do material, ou seja, de suas características geométricas [56].

A resistência elétrica é dada por  $R$ , medida em  $\Omega$ , relacionada com a resistividade  $\rho$ , e é obtida pela equação.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{tW} = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

Sendo: onde  $l$  é o comprimento,  $W$  é a largura, e  $t$  a espessura do corpo,  $S$  é a área da amostra [57].

Quando se tem uma amostra plana e homogênea é possível obter valores de resistividade superficial, ou seja, apenas da superfície da amostra e da resistividade volumétrica, ou seja, do volume da amostra.

A borracha natural é um material isolante, pois apresenta resistividade elétrica na ordem de  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ , sendo que, materiais que apresentam, resistividade elétrica na ordem de  $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ , são considerados isolantes [58].

## 2.6 ANÁLISES TOPOGRÁFICAS

As análises topográficas podem ser realizadas de diversas maneiras, sendo uma delas a microscopia eletrônica de varredura que é utilizada em várias áreas do conhecimento por fornecer informações de detalhes, com aumentos de até 300.000 vezes. As imagens fornecidas pelo MEV (microscopia eletrônica de varredura) possuem um caráter virtual, pois o que é visualizado no monitor do aparelho é a transcodificação da energia emitida pelos elétrons, ao contrário da radiação de luz a qual estamos habitualmente acostumados [42].

A imagem obtida com a microscopia eletrônica de varredura é formada pela incidência de um feixe de elétrons no material, sob condições de vácuo. A imagem obtida com a técnica representa em tons de cinza o mapeamento e a contagem de elétrons secundários e retroespalhados emitidos pelo material

analisado. A resolução obtida em imagens de elétrons secundários corresponde ao diâmetro do feixe de elétrons incidente, e que pode variar de acordo com as especificações do equipamento utilizado na análise [42].

Ao MEV pode ser acoplado o sistema de EDX (Energy Dispersive X-Ray), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e semiquantitativa das amostras, a partir da emissão de raios X característicos.

Como formas de aplicação, as análises da superfície de fratura demonstram que não há diferença significativa entre as amostras dos diferentes tratamentos, ou como a incidência do envelhecimento interfere na morfologia das amostras [42].

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais, metodologia, equipamentos e as técnicas utilizadas neste trabalho estão descritas a seguir.

#### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, inicialmente foram utilizadas luvas, mangas e lençóis isolantes, confeccionadas com borracha natural e sintética, coberturas rígidas confeccionadas em polietileno de alta densidade e vara de manobras confeccionada em fibra de vidro e resina epóxi. Após os ensaios iniciais constatou-se que o material mais sensível aos produtos de limpeza era o lençol isolante, tendo sido este o material aplicado no estudo. Todos os materiais utilizados são comerciais e iguais a aqueles aplicados pelas concessionárias de energia.

Com relação aos produtos de limpeza foram testados:

- a) Detergente de cozinha neutro, composição: componente ativo, glicerina, coadjuvantes, conservantes, sequestrantes, espessantes, branqueador óptico, corante, fragrância e veículo. Componente ativo: linear Alquibenzeno Sulfonato de Sódio. Este produto foi utilizado, pois, é atualmente aplicado pelas concessionárias;
- b) Produto de limpeza multiuso, uso direto: Éter Glicólico, Monoetanolamina, conservante, coadjuvantes, fragrância, corante e água desmineralizada. Este produto foi utilizado, pois, é um agente de limpeza com surfactante enzimático, com alto poder de limpeza;
- c) Produto importado, líquido spray, denominado produto *A*. O fabricante não fornece a composição;
- d) Lenço umedecido importado, denominado lenço umedecido *A*. O fabricante não fornece a composição;
- e) Lenço umedecido importado, denominado lenço umedecido *B*. O fabricante apenas indica que o produto possui álcool isopropílico em sua formulação.



Os produtos: c), d) e e) foram importados, pois, são comercializados exclusivamente para a limpeza de EPI's elastoméricos e indicados por alguns fabricantes de equipamentos.

Serão omitidos os nomes dos fabricantes dos produtos por questões comerciais.

Para o desenvolvimento do produto adaptado para a utilização na limpeza dos equipamentos de rede energizada (EPI's e EPC's), foram analisados diversos produtos, com base na literatura onde priorizou-se a indicação que os produtos deveriam possuir características compatíveis com a borracha natural. Os compostos químicos aplicados foram:

- a) Dietanolamina do fabricante Synth: trata-se de um surfactante com propriedades não-iônicas, este produto é um agente de limpeza: desengraxante, alcalinizante e neutralizante;
- b) Álcool Cetoesteárilico do fabricante Synth: trata-se de um surfactante não-iônico que promove o emulsionamento de formulações detergentes;
- c) Acetona PA do fabricante Synth: trata-se de um composto orgânico, atua como um solvente, sendo solúvel em água. É utilizado em formulações detergentes, pois, dissolve lipídios auxiliando na remoção de sujidades com estas características e é desinfectante;
- d) Vaselina líquida do fabricante Synth: trata-se de um óleo mineral insolúvel em água, utilizado em formulações como umectante, agente emoliente e emulsionante;
- e) Dodecil Sulfato de Sódio do fabricante Synth: trata-se de um surfactante aniônico, com propriedades detergentes, espumantes e promove a remoção de sujidades insolúveis em água, é um produto de baixo custo;
- f) Álcool Isopropílico do fabricante Synth, PA: trata-se de um agente carregador, antibacteriano, desinfectante, solvente e solúvel em água, pois, é um composto polar;
- g) Glicerina do fabricante Synth: trata-se de um composto derivado de matérias-primas de origem vegetal de fontes renováveis, utilizada como umectante, lubrificante e veículo em formulações de detergentes;

- h) Etileno Glicol do fabricante Synth: trata-se de um agente anticongelante, lubrificante, umectante e emoliente para atenuar o ressecamento da pele e ou superfícies;
- i) Trietanolamina do fabricante Synth: trata-se de um surfactante aniônico, com propriedades: emulsionantes, alcalinizantes, neutralizantes, espumantes, emulsificante e é inibidor de corrosão;
- j) EDTA - Sal Sódico do Ácido Etileno-DiaminoTetra-Acético do fabricante Synth: trata-se do composto conhecido apenas como EDTA. Este sal é um estabilizante utilizado em produtos cosméticos em função de sua propriedade quelante, ele previne que os componentes da formulação se liguem a alguns metais (elementos-traço) que podem estar presente na água ou em algum dos ingredientes. Esta ação quelante é importante, pois caso ocorra a ligação de algum ingrediente da formulação com os metais, podem ocorrer alterações na textura, consistência, coloração, odor ou mesmo diminuição da atividade do produto. Desta forma, a adição do EDTA ajuda a obter formulações mais estáveis.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Coleta das sujidades e forma de limpeza, realizadas em campo.

Para avaliar as características das sujidades presentes nos equipamentos, bem como o processo de limpeza aplicado pela concessionária, foi-se à campo e realizou-se a extração das sujidades presentes nos equipamentos de proteção utilizados nas redes energizadas. A coleta foi realizada com algodões estéreis, embebidos em água deionizada. Estes foram friccionados nas superfícies dos equipamentos onde era evidente a presença das sujidades. A coleta foi realizada nos seguintes equipamentos: vara telescópica, coleta realizada na parte externa; vara de manobra, coleta realizada na parte externa; luvas de borracha, coleta realizada nas partes interna e externa; mangote, coleta realizada na parte interna como pode ser

observado na Figura 10, manga de borracha, coleta realizada nas partes interna e externa, cobertura de poste coleta realizada na parte externa.



Figura 10: Mangote de borracha com sujeira evidente na parte interna.

A forma de limpeza realizada pelas concessionárias de energia elétrica consiste na remoção superficial das sujidades com um pano úmido como mostrado na Figura 11, aplicação de detergente de cozinha neutro com esponjas e ou quando há sujidades persistentes como, por exemplo, óleos e graxas nos equipamentos de proteção individual e coletivos faz-se a imersão dos mesmos em tanques com a adição do detergente de cozinha neutro e água á 80°C sem tempo determinado.

A Figura 11 mostra os equipamentos após a utilização em campo sendo avaliadas as sujidades pelo operador. Após este processo os equipamentos são encaminhados para a limpeza que se faz necessária.



Figura 11: Equipamentos de proteção, em processo de limpeza.

### 3.2.2 Determinação do pH e condutividade das sujidades presentes nos equipamentos

Foi realizada a extração dos resíduos das amostras de algodão coletadas em campo colocando-as sobre papel de filtro já em um funil de vidro. Primeiramente a amostra foi filtrada com excesso de acetona para extração de componentes orgânicos. Esse filtrado depositado em copo Becker foi evaporado pelo período de quatro dias em temperatura ambiente assim como o algodão no filtro.

Após esse período, as mesmas amostras de algodão coletadas em campo foram novamente filtradas utilizando-se o mesmo arranjo com o mesmo papel filtro, porém filtradas com água deionizada utilizando o mesmo arranjo. Esta extração foi realizada para solubilização de componentes inorgânicos presentes nas sujidades, e com esses filtrados realizou-se as análises de pH e condutividade.

O diagrama esquemático para melhor entendimento da extração está na Figura 12.

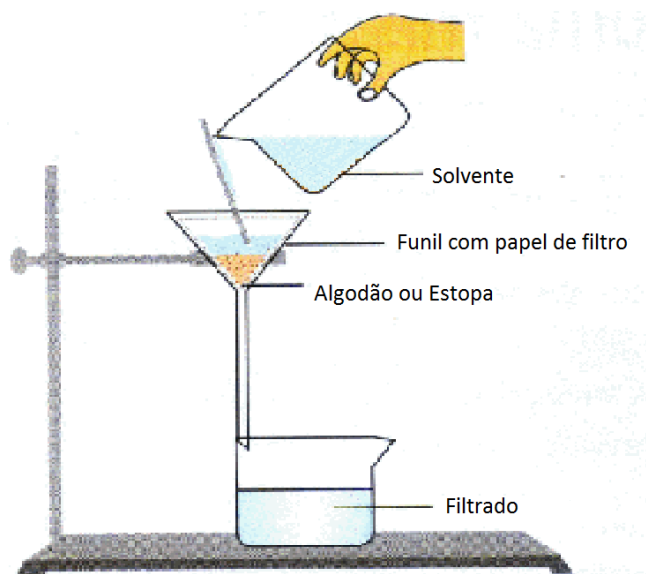


Figura 12: diagrama esquemático da extração.

### 3.2.3 Determinação do pH e condutividade das sujidades presentes nos equipamentos.

As análises de pH e condutividade das sujidades, são importantes para determinar o tipo de surfactante a ser utilizado. Estas análises foram realizadas com a utilização de um pHmêtro de marca Digimed modelo DM-22 em eletrodo combinado de Ag/AgCl com barreira iônica e condutímetro Digimed modelo DM-31.

Os equipamentos podem ser visualizados na Figura 13.



Figura 13: Equipamentos utilizados na análises. Em a) pHmêtro Digimed modelo DM-22; em b) o eletrodo combinado de Ag/AgCl com barreira iônica; e em c) condutímetro Digimed modelo DM-31.

### 3.2.4 Determinação do pH e condutividade dos produtos de limpeza.

Realizou-se ensaios de pH e condutividade para a caracterização físico-química dos produtos de limpeza utilizados na pesquisa com auxílio de um pHmêtro de marca Digimed modelo DM-22 em eletrodo combinado de Ag/AgCl com barreira iônica e condutímetro Digimed modelo DM-31. Estes equipamentos são mostrados na Figura 13.

As preparações dos produtos de limpeza para a determinação do pH e condutividade foram as seguintes:

- Detergente de cozinha neutro, 5% m/m do produto em água deionizada.
- Produto de limpeza multiuso, 20% m/m do produto em água deionizada.
- Produto líquido importado A, 50% m/m do produto em água deionizada.

- Lenço umedecido importado *A*, para esta análise coletou-se o produto da imersão do lenço umedecido em água deionizada.
- Lenço umedecido importado *B*, para esta análise coletou-se o produto da imersão do lenço umedecido em água deionizada.

### **3.2.5 Condicionamento das amostras de lençol de borracha isolante comercial.**

Para a análise das alterações topográficas superficiais das amostras de borracha, as mesmas foram submetidas à aplicação dos produtos diluídos da seguinte maneira:

- Detergente de cozinha neutro, 5% m/m do produto em água deionizada.
- Produto de limpeza multiuso, 20% m/m do produto em água deionizada.
- Produto líquido importado *A*, 50% m/m do produto em água deionizada.
- Lenço umedecido importado *A* e Lenço umedecido importado *B*, para este produto de limpeza aplicou-se o lenço umedecido diretamente, pois, o produto é comercializado pronto para a utilização.
- Dietanolamina, 5% m/m do produto em água deionizada.
- Álcool Cetoesteárilico, 2% m/m do produto em água deionizada.
- Acetona PA, 10% m/m do produto em água deionizada.
- Vaselina líquida sem diluição.
- Dodecil Sulfato de Sódio, 10% m/m do produto em água deionizada.
- Álcool Isopropílico PA, 8,5% m/m do produto em água deionizada..
- Glicerina do fabricante, 10% m/m do produto em água deionizada.
- Etileno Glicol do fabricante, 10% m/m do produto em água deionizada.
- Trietanolamina, 10% m/m do produto em água deionizada.
- EDTA: Sal Sódico do Ácido Etileno-DiaminoTetra-Acético, 1% m/m do produto em água deionizada.

As aplicações ocorreram de formas diferentes com o intuito de diagnosticar os efeitos causados pela metodologia de aplicação não só pela interação dos produtos de limpeza com a borracha. Esta metodologia de aplicação segue os padrões da norma ES – 366A3025 [63].

- a) em imersão por 24 horas em temperatura ambiente;
- b) aplicação com algodão a uma velocidade de 37 cursos duplos por minuto;
- c) aplicação com esponja a uma velocidade de 37 cursos duplos por minuto;
- d) em imersão em ultrassom por 5 minutos;
- e) aplicação com os lenços umedecidos importados a aplicação ocorreu com o próprio lenço a uma velocidade de 37 cursos duplos por minuto.

Após a aplicação dos produtos todas as amostras foram enxaguadas em água corrente e secadas em temperatura ambiente em recipiente fechado.

Para os ensaios mecânicos e elétricos as amostras de lençol de borracha natural foram imersas nos produtos comerciais citados no item 3.1 pelos períodos de 0, 48, 168 e 240 horas, períodos de envelhecimento conforme norma ASTM D 412, em temperatura ambiente para as amostras com os produtos importados sendo eles: Produto líquido importado *A* sem diluição, pois, o produto indica a aplicação direta, Lenço umedecido importado *A* e Lenço umedecido importado *B*, (para estes dois produtos as amostras ficaram em contato com os lenços em recipientes fechados), nos quais não se conhece o solvente, e em estufa a 60°C para amostras com os produtos conhecidos, que são: água deionizada, o detergente de cozinha neutro 5% de seu produto em água deionizada e o produto de limpeza multiuso 20%,

Após a aplicação dos produtos de limpeza as amostras foram lavadas em água corrente e secadas em temperatura ambiente.

Estes condicionamentos possuem o intuito de visualizar o que seria um envelhecimento ou degradação a longo prazo com a aplicação do produto de limpeza e com o método que se aproxima do modo em que ocorre a limpeza dos equipamentos na concessionária de energia elétrica onde ocorre a imersão dos equipamentos em água a 60°C com detergente de cozinha neutro.

### 3.2.6 Ensaios de tração à ruptura

As amostras de lençol de borracha, antes e após o condicionamento com os produtos de limpeza foram submetidas à tração até a ruptura, conforme norma ASTM D 412, em forma de gravatas modelo NBR NM-IEC 60811-1-1, na velocidade de 50 mm por minuto, em equipamento INSTRON modelo 4467 com célula de carga 100 kg e  $L_0$  de 20 mm. O equipamento pode ser visualizado na Figura 14.



Figura 14: Equipamento INSTRON 4467

### 3.2.7 Resistividade superficial e volumétrica

Foi utilizado o equipamento HP 4329 A (High Resistance Meter) que possui chave seletora e célula para medida de resistividade.

Para esta medida aplicou-se durante o tempo de um minuto uma tensão de 500 V. Após este pré-condicionamento elétrico foram coletadas de forma automática 128 amostragens e realizada uma média (pelo próprio equipamento). Para cada medida foram coletados cinco valores para obtenção do resultado médio e o desvio padrão associado. Este equipamento pode ser visualizado na figura 15.





Figura 15: Equipamento HP 4329 A (High Resistance Meter) dotado de chave seletora e célula de resistividade.

Com base na bibliografia técnica de avaliação de materiais a resistividade superficial e volumétrica não deve ser alterada em mais do que uma ordem de grandeza [60].

### 3.2.8 Determinação da absorção do produtos de limpeza pelo elastômero

O ensaio de absorção consiste em colocar a amostra em contato com um líquido pelo período de 24 horas seguido de secagem em temperatura ambiente. No presente trabalho, utilizou-se os produtos de limpeza, para que ocorra a absorção deste líquido pelo polímero, causando inchamento, e assim, possibilitando o cálculo da variação de massa. O grau de inchamento ou absorção (S) é calculado pela relação apresentada na equação.

$$S = \frac{M_i - M_p}{M_p} \times 100\%$$

Sendo  $M_p$  a massa da amostra polimérica antes da absorção, e  $M_i$  é a massa da amostra após a imersão com o líquido.

Para estas medidas utilizou-se a balança digital de precisão da marca Shimadzu modelo AX200. A balança pode ser visualizada na Figura 16.



Figura 16: Balança digital de precisão Shimadzu AX200.

### 3.2.9 Avaliação da superfície das amostras por microscopia

Para avaliar visualmente os aspectos da degradação causada pela aplicação de produtos de limpeza comerciais utilizou-se o Microscópio óptico da marca Wild Herbrugg com as ampliações de 25x. O microscópio pode ser visualizado na Figura 17.



Figura 17: Microscópio óptico Wild Herbrugg

Para a visualização microscópica foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura Philips, modelo XL30 com as ampliações de aproximadamente 100x e 500x as análises realizadas nas amostras de lençol isolante com a aplicação dos produtos comerciais. Para a microscopia realizada nos produtos

aplicados na formulação e nos produtos formulados aplicados no lençol isolante utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura da marca Tecscan modelo VEGA 3 LMU. Os microscópios podem ser visualizados na Figura 18 a) e b).



Figura 18: Microscópios eletrônicos de varredura a) Philips XL30 e b) Tecscan VEJA 3 LMU

### 3.2.10 Desenvolvimento de produtos

Com as imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura houve o direcionamento para a formulação de novos produtos que poderiam responder positivamente na limpeza dos equipamentos de proteção. Dentre vários reagentes analisados alguns obtiveram características melhores e foram utilizados para o desenvolvimento dos produtos finais.

As formulações realizadas com os reagentes selecionados foram aplicadas no lençol de borracha natural comercial conforme o condicionamento

mostrado no item 3.2.5 (aplicação com lenço) e avaliadas com análises de MEV, pH e condutividade, absorção, ensaios mecânicos e elétricos.

O produto de melhor desempenho foi comparado com os produtos comerciais, nacionais e importados, e realizou-se a avaliação de eficácia de limpeza do produto desenvolvido, aplicando-o em uma amostra de lençol isolante com sujidade aparente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DETERMINAÇÃO DO pH E CONDUTIVIDADE

#### 4.1.1 Determinação do pH e condutividade das sujidades coletadas dos equipamentos de proteção.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados de pH e condutividade das amostras de sujidades retiradas dos equipamentos usados em campo.

Tabela 1: Resultados de pH e condutividade das sujidades retiradas dos equipamentos usados em campo

Amostra	pH	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
H <sub>2</sub> O Deionizada	6,6	20,8
Vara telescópica - parte externa	6,1	53,3
Vara de Manobra	6,2	52,0
Luva Borracha - parte externa	6,5	28,2
Luva de Borracha - parte interna	6,2	154,1
Mangote de borracha - parte interna	5,9	60,8
Manga - parte externa	6,1	22,9
Manga - parte interna	5,9	83,2
Cobertura de Poste - parte externa	6,3	27,7

Na análise de pH das sujidades observa-se que os valores variam entre 5,8 e 6,6 evidenciando que as amostras possuem caráter levemente ácido. Esse fato pode representar aderência das sujidades e degradação futura para as superfícies de borracha com estes depósitos. Como o pH é levemente ácido, a degradação por essas sujidades, provavelmente, será lenta, mas ocorrerá devido à compostos ácidos promoverem a quebra das duplas ligações presentes na borracha natural. Compostos constituídos por ésteres e hidrogênio também favorecem a degradação. [61].

Para análise da condutividade elétrica destas sujidades, observa-se que a parte interna da luva de borracha possui a maior alteração entre as amostras, o que é explicado por ser a parte que fica em contato direto com as mãos do

operador, e acaba absorvendo o suor, onde são encontradas diversas substâncias sendo elas: água ( $H_2O$ ) em aproximadamente 99% da composição e ainda minerais como sódio ( $Na^+$ ), cloreto ( $Cl^-$ ), potássio ( $K^+$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e cálcio ( $Ca^+$ ) [64]. Estes compostos possuem características salinas que irão aumentar a condutividade.

Com estes dados observa-se que o pH das sujidades é ácido, (menor que 7), e que a condutividade das sujidades foi de no máximo 154  $\mu S/cm$ . Esses fatores indicam que o detergente a ser utilizado, deverá ser neutro ou levemente básico, e deverá ter a condutividade com a ordem de grandeza semelhante, assim, valores altos na condutividade do produto serão considerados impróprios para a aplicação.

#### 4.1.2 Determinação do pH e condutividade dos produtos de limpeza comerciais

Na Tabela 2, são apresentados os resultados de pH e condutividade dos produtos de limpeza comerciais em soluções diluídas conforme metodologia item 3.2.4.

Tabela 2: Resultados de pH e condutividade das sujidades retiradas dos equipamentos usados em campo

Amostra	pH	Condutividade ( $\mu S/cm$ )
Detergente de cozinha neutro	6,9	1381
Produto de limpeza multiuso	10,5	140
Lenço umedecido A	9,6	8500
Lenço umedecido B	9,4	20,4
Produto importado A	9,7	2170
Álcool Isopropílico 8,5%	7,7	2

Em relação aos produtos de limpeza analisados, é possível verificar que:

- o detergente de cozinha, mesmo sendo o utilizado atualmente pelas concessionárias de energia elétrica para a limpeza de polímeros, possui uma condutividade alta, mesmo com baixo grau

de diluição (5%), o que é característica do surfactante iônico presente em sua formulação;

- o produto de limpeza multiuso tem pH básico, acima do que seria indicado para a aplicação na borracha pois a basicidade pode ser um fator de degradação, pois é um meio físico químico que não é neutro, favorecendo a quebra de ligação das cadeias da borracha [61].
- os produtos importados sendo eles o lenço umedecido *A* e o Produto *A* aparentemente possuem suas bases solventes parecidas e possuem pH básico e condutividades muito elevadas;
- o lenço umedecido *B* tem como sua base álcool isopropílico, contudo seu pH é neutro e sua condutividade é quase nula, não apresentando dentro dos critérios estabelecidos antes, muitos riscos á sua aplicação na borracha.

#### 4.2 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DOS PRODUTOS DE LIMPEZA

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados do ensaio de absorção dos produtos de limpeza para as amostras de lençol isolante.

Tabela 3: Resultados de absorção dos produtos de limpeza para as amostras de lençol isolante

Produto	Absorção %
água deionizada	<b>0,8%</b>
detergente de cozinha neutro	<b>1,0%</b>
produto de limpeza multiuso	<b>1,4%</b>
produto importado A	<b>-2,0%</b>
lenço umedecido A	<b>1,6%</b>
lenço umedecido B	<b>0,8%</b>

Os ensaios de absorção realizados mostram que o detergente de cozinha neutro, o produto de limpeza multiuso e o lenço umedecido importado A são permeados em baixa quantidade para o interior da amostra de borracha. Essa permeação mesmo em baixa quantidade pode alterar as características elétricas do equipamento, já que conforme os resultados obtidos para a condutividade destes produtos obteve-se evidências de que eles possuem íons.

O produto importado A apresentou a porcentagem de absorção negativa indicando que extraiu componentes da borracha, como, por exemplo, agentes plastificantes, com a remoção do plastificante o elastômero deve ficar mais rígido mudando as propriedades mecânicas.

No caso da água deionizada e do lenço umedecido importado B a permeação ocorre, porém, os produtos da absorção irão evaporar do sistema e não irão deixar íons no volume ou na superfície das amostras, que podem alterar a condutividade do material.



### 4.3 AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DAS AMOSTRAS POR MICROSCOPIA

#### 4.3.1 Microscopia óptica

A Figura 19 apresenta imagens da superfície do lençol antes e após aplicação de detergente de cozinha neutro.

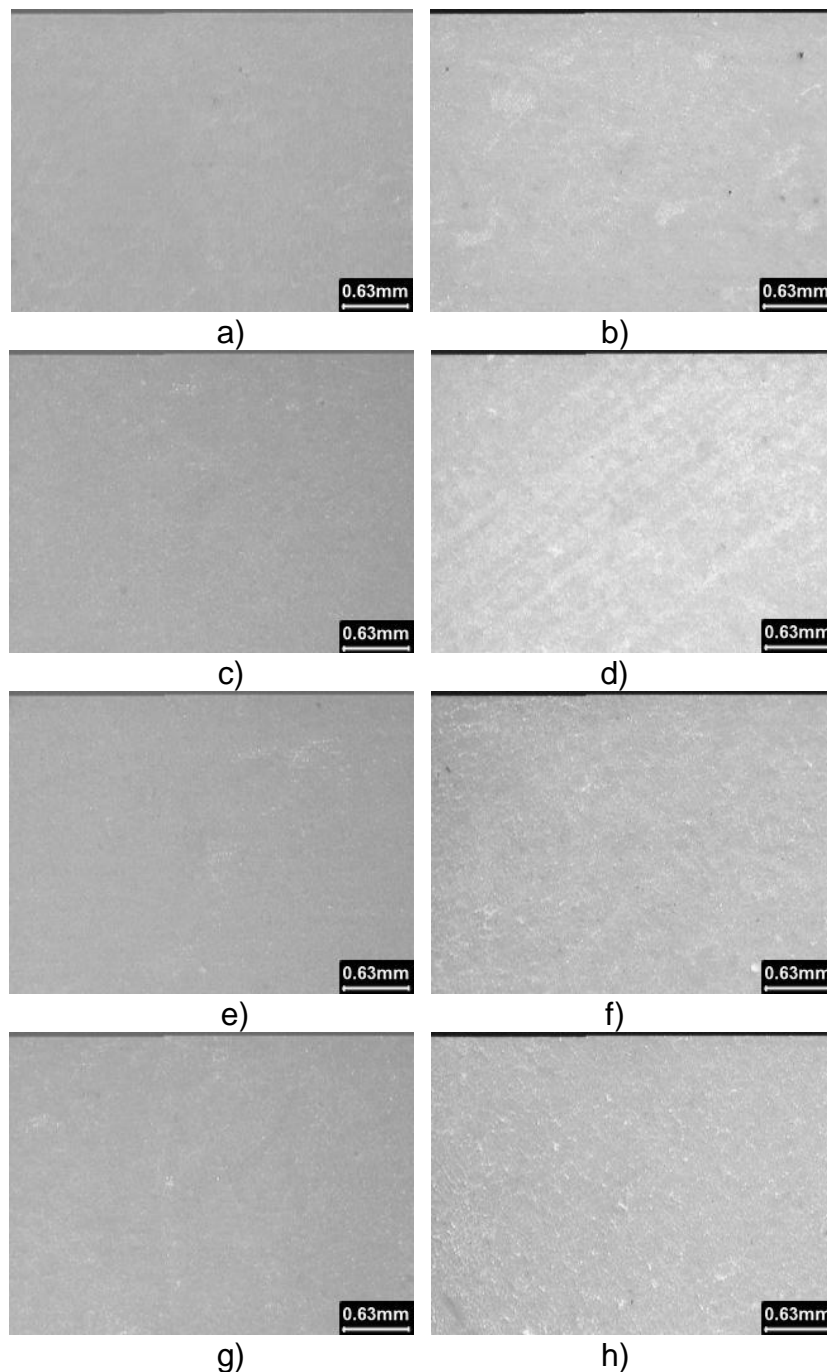


Figura 19: Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do detergente de cozinha neutro: a) c) e) g) antes da aplicação; b) aplicação com algodão; d) aplicação com esponja; f) aplicação com ultrassom; h) 24h em imersão.

Com a aplicação de detergente de cozinha neutro as alterações nas amostras são visíveis, a amostra na qual houve aplicação com algodão é possível visualizar partículas do algodão que se desprendem do mesmo. A aplicação com esponja faz riscos na superfície da amostra o que pode ocasionar redução na resistividade elétrica da amostra e regiões favoráveis ao acúmulo de depósitos, estes depósitos podem possuir íons ou agentes geradores de degradação. As aplicações com ultrassom e em imersão por 24 horas mostram um mesmo aspecto de alterações da superfície, que podem ser resultado da extração de plastificantes e outros constituintes do elastômero.

A Figura 20 apresenta imagens da superfície do lençol antes e após aplicação de produto multiuso.

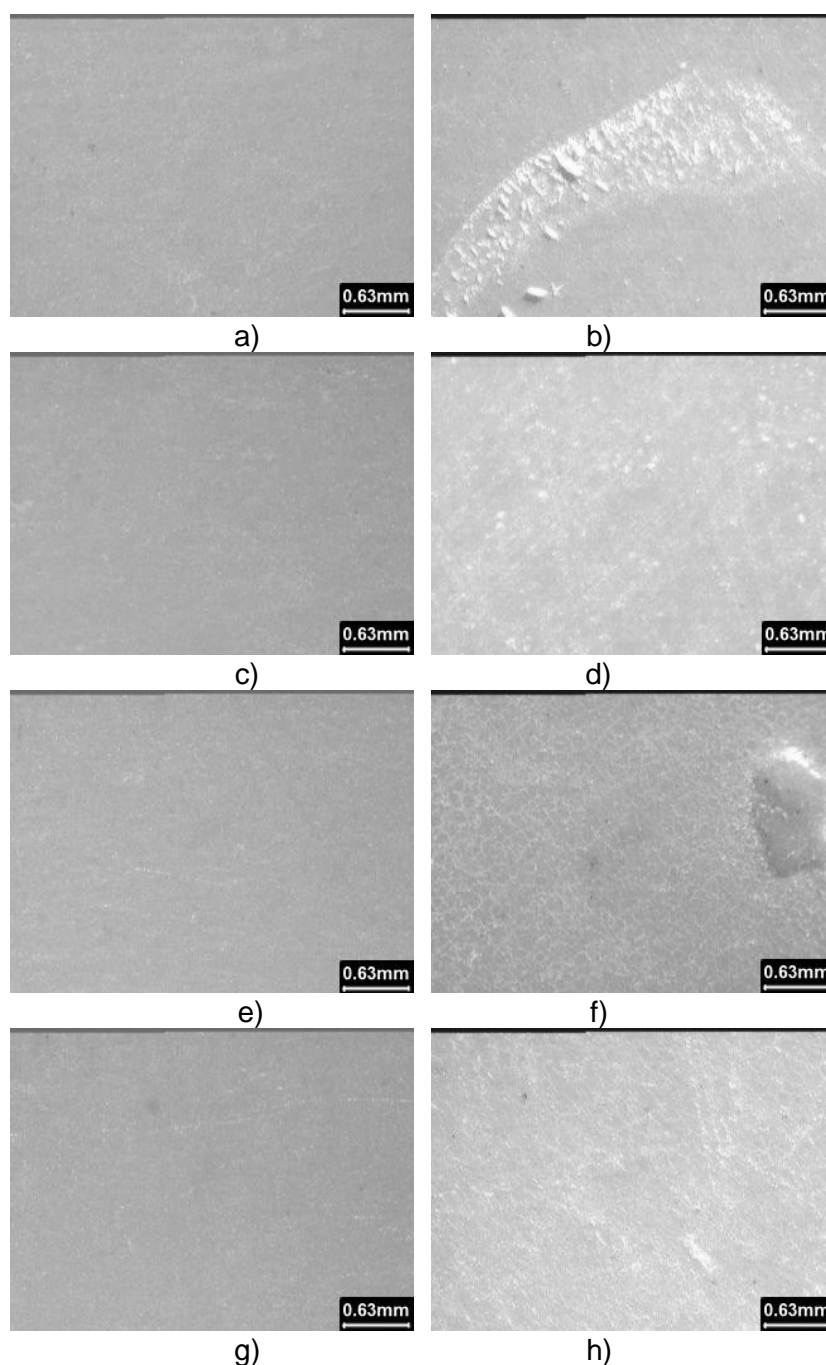


Figura 20: Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do produto de limpeza multiuso: a) c) e) g) antes da aplicação; b) aplicação com algodão; d) aplicação com esponja; f) aplicação com ultrassom; h) 24 h em imersão.

Com a aplicação do produto de limpeza multiuso, as alterações nas amostras são semelhantes ao detergente de cozinha, nas amostras aplicadas com algodão, esponja e 24 horas em imersão. A aplicação com ultrassom também mostra alterações da superfície da amostra e formação bolhas que não se sabe se é defeito da amostra ou ocasionada pelo produto de limpeza

multiuso que possui em sua formulação surfactantes enzimáticos, que podem interagir com os compostos da borracha ,pois, este aspecto não foi evidenciado em outras amostras analisadas. A aplicação e em imersão por 24 horas mostra a mesmo aspecto com alterações significativas na superfície da borracha.

A Figura 21 apresenta imagens da superfície do lençol antes e após aplicação do produto importado A.

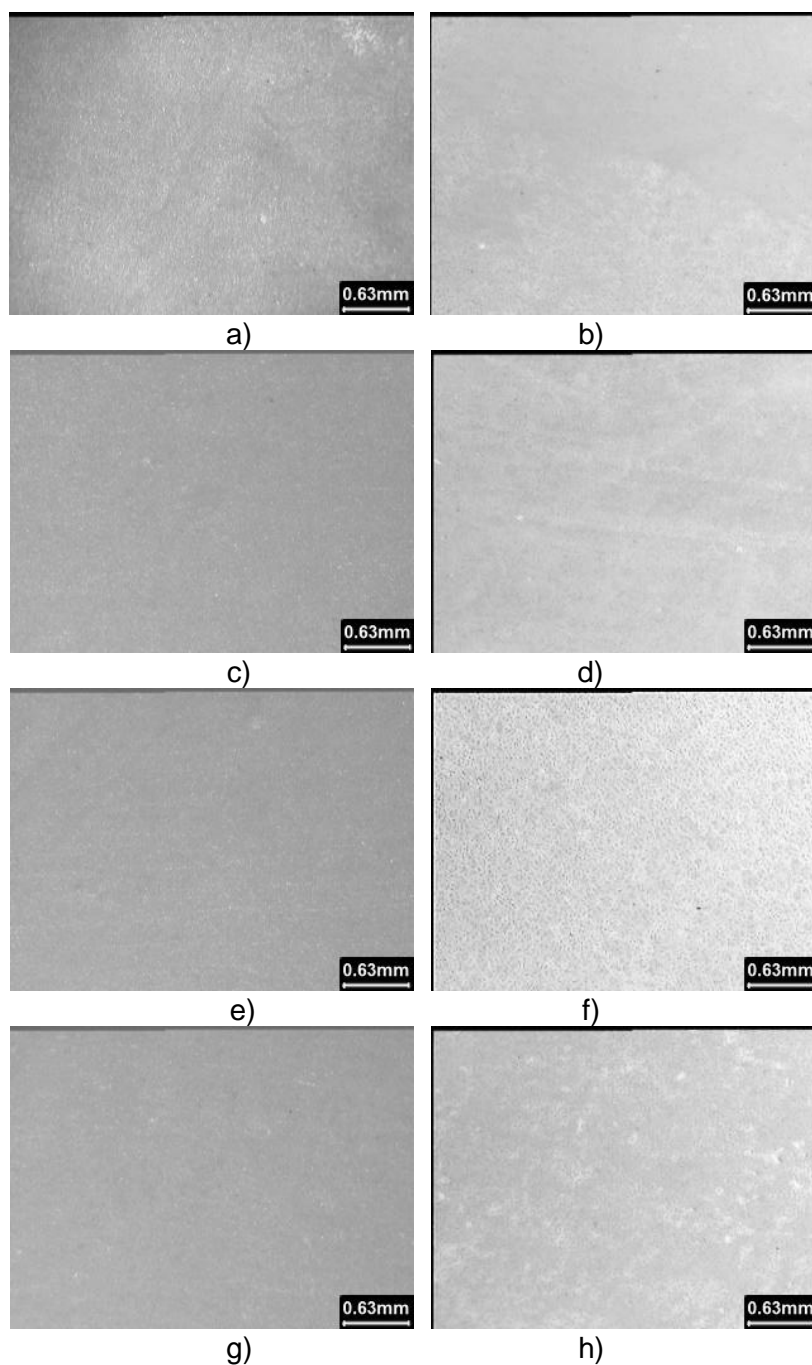


Figura 21: Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do Produto importado A: a) c) e) g) antes da aplicação; b) aplicação com algodão; d) aplicação com esponja; f) aplicação com ultrassom; h) 24 h em imersão.

Os efeitos na superfície das amostras aplicados com algodão e esponja mantêm o padrão das amostras anteriores, o mesmo acontecendo para amostras após imersão e ultrassom.

A Figura 22 apresenta imagens da superfície do lençol antes e após aplicação do lenço umedecido importado A.

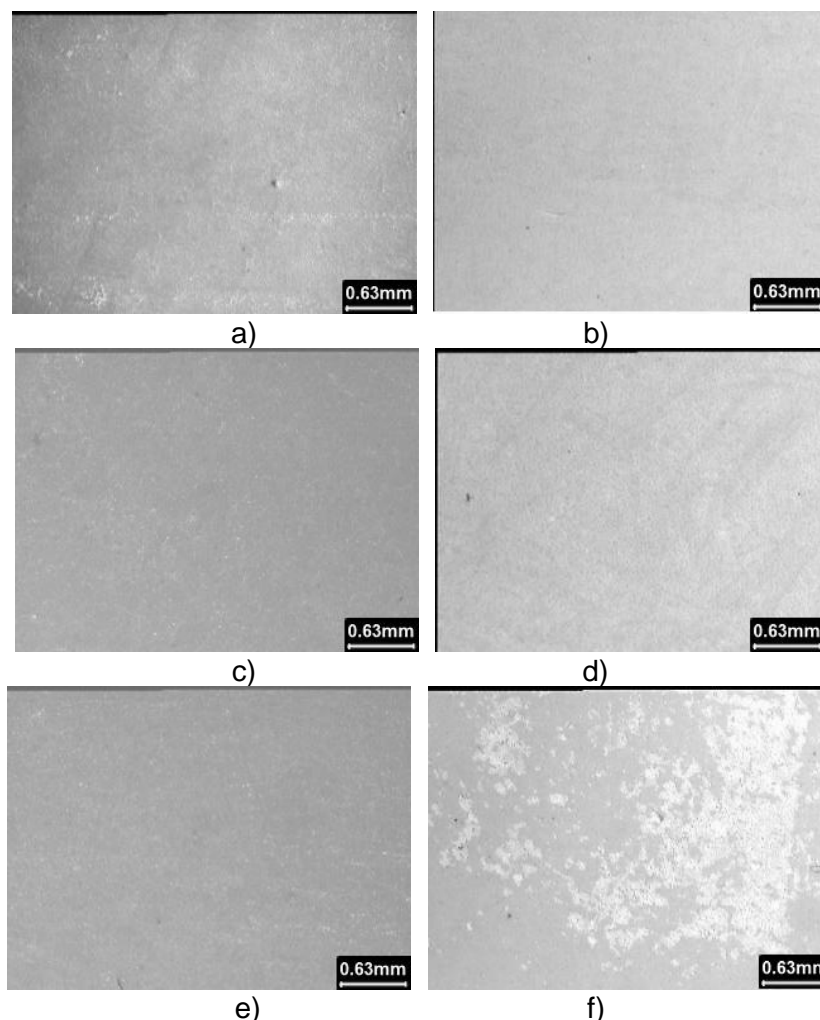


Figura 22: Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do Lenço umedecido importado A: a) c) e) antes da aplicação; b) aplicação com o próprio lenço; d) aplicação em ultrassom; f) aplicação em contato por 24 h.

Para este produto não se realizou a aplicação com algodão e com a esponja, pois, o produto por ser produzido em lenço umedecido já é pronto para o uso desta maneira. A aplicação direta com o lenço umedecido mostra que o método não é visivelmente agressivo a amostra que não apresenta desprendimentos de partículas do lenço nem riscos na sua superfície da amostra. A aplicação com ultrassom demonstra um leve ressecamento e a aplicação com 24 horas em contato mostra que a amostra apresentou

alterações e pontos esbranquiçados que podem ser depósito do produto e ou extração dos constituintes da borracha natural.

A Figura 23 apresenta imagens da superfície do lençol antes e após aplicação do lenço umedecido importado *B*. Em todos os métodos de aplicação desse produto as amostras não apresentaram alterações visíveis e significativas.

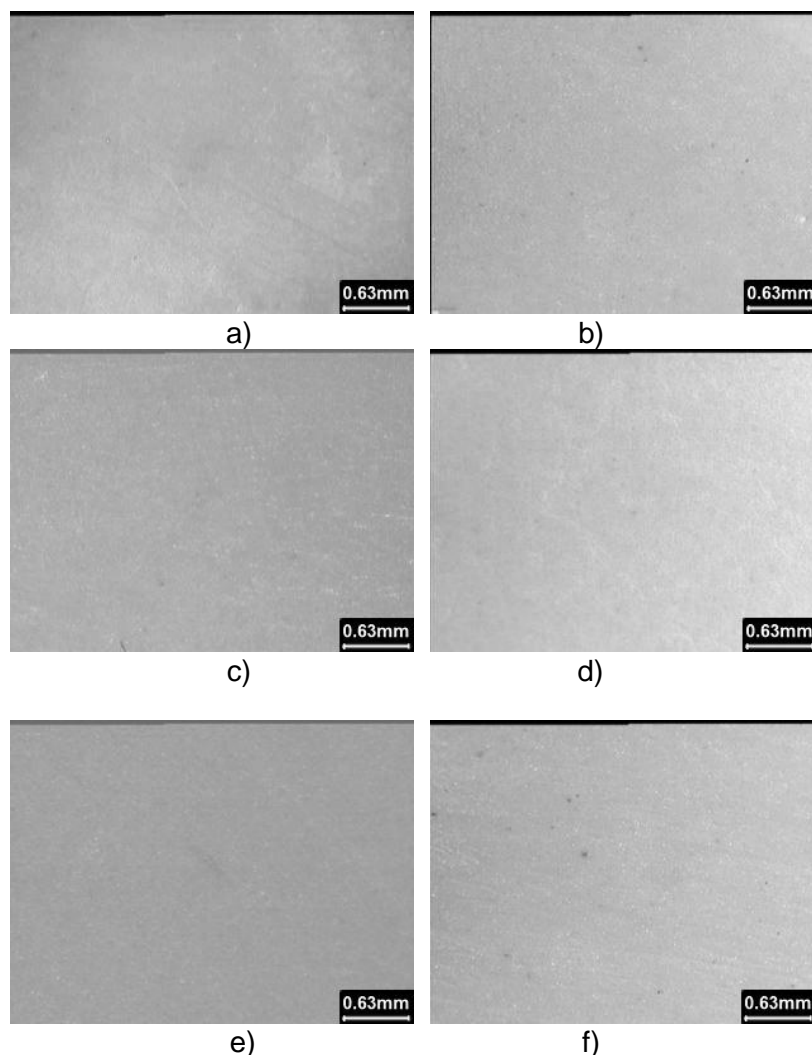


Figura 23 Imagens da superfície da amostra do lençol de borracha antes e após aplicação do Lenço umedecido importado *B*: a) c) e) antes da aplicação; b) aplicação com o próprio lenço; d) aplicação em ultrassom; f) aplicação em contato por 24 h.

#### 4.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

Para verificação das alterações superficiais ocorridas em amostra de lençol isolante, que foram colocadas em contato com produtos de limpeza comerciais, foi feita avaliação por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A amostra do lençol antes da aplicação dos produtos de limpeza apresentava

superfície irregular, mas sem a formação de fissuras como pode ser observado pela Figura 24.

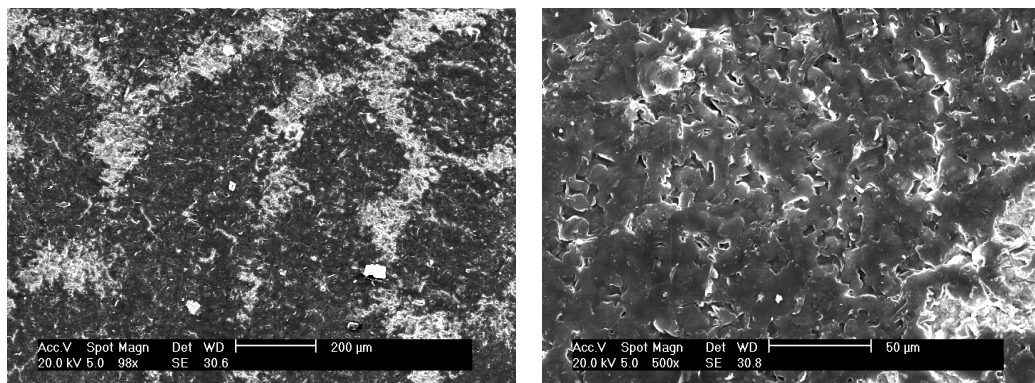


Figura 24: Imagens da superfície do lençol isolante sem condicionamento com produtos de limpeza, em duas ampliações.

As Figuras 25 a 28 apresentam a imagem da superfície do lençol após aplicação do detergente de cozinha neutro com algodão, esponja, ultrassom e em 24h de imersão. Após a aplicação do detergente de cozinha neutro a superfície ficou irregular em todos os métodos de aplicação. Pode-se observar na maior ampliação o aparecimento de cristais. A maior irregularidade pode ter sido causada pela aplicação com esponja, como pode ser observado na Figura 16, onde é possível visualizar o ressecamento e a formação de buracos maiores na amostra. A aplicação em ultrassom não demonstra alterações significativas. A visualização do método da aplicação com algodão comprova que as imagens realizadas em microscópios ópticos que o algodão deixa resíduos na superfície. A aplicação com 24 horas em imersão mostra que o método possivelmente extraiu a camada superior borracha.

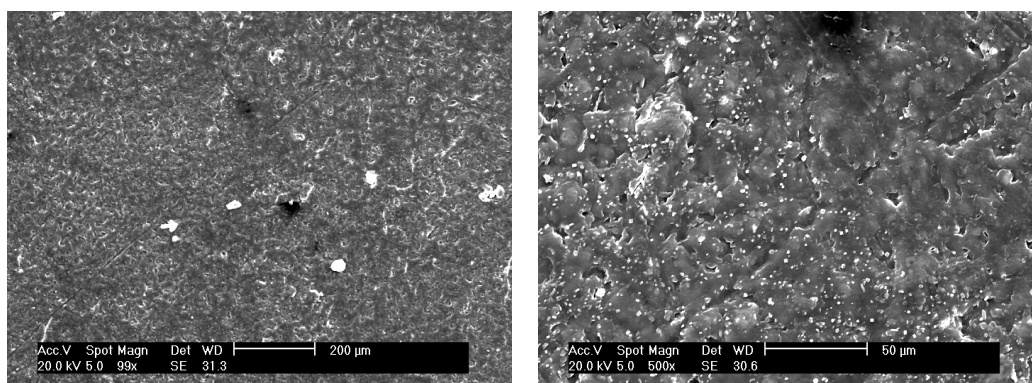


Figura 25: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de detergente de cozinha neutro com algodão, em duas ampliações.

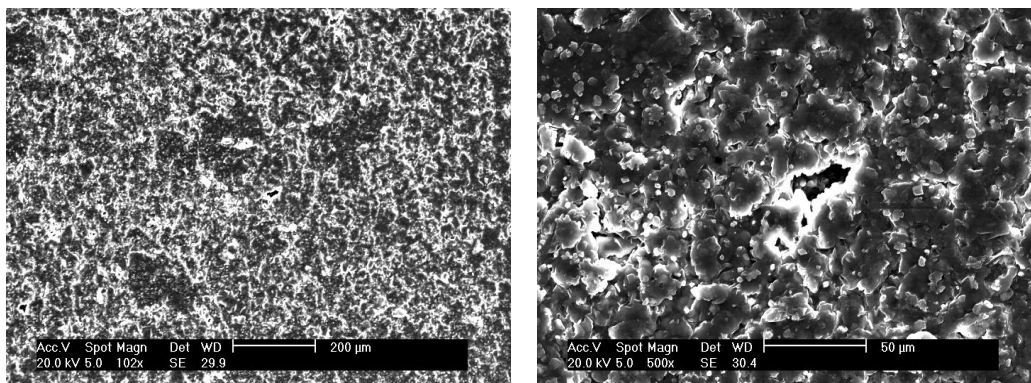


Figura 26: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de detergente de cozinha neutro com esponja, em duas ampliações.

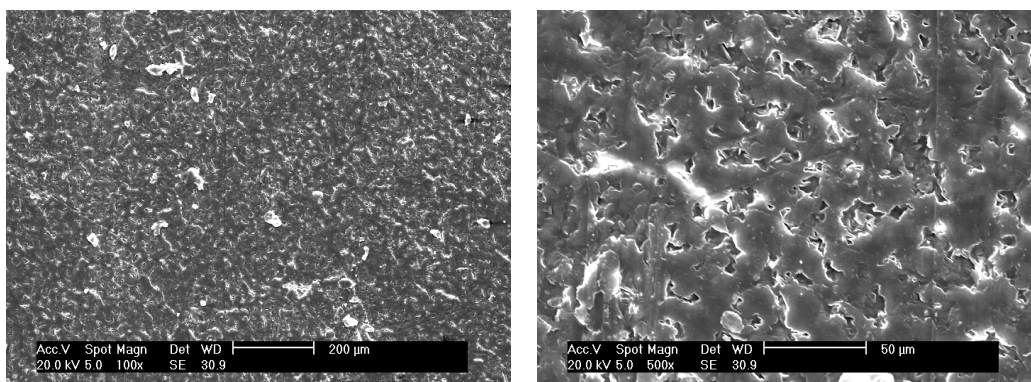


Figura 27: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de detergente de cozinha neutro em ultrassom, em duas ampliações.

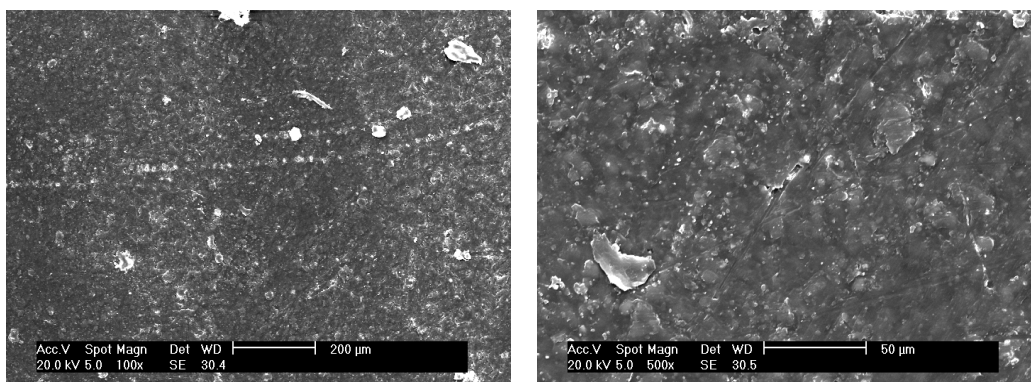


Figura 28: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de detergente de cozinha neutro 24 h, em duas ampliações.

Da Figura 29 a 32 pode-se observar a imagem da superfície do lençol após aplicação do produto de limpeza multiuso com algodão, esponja, ultrassom e em 24h de imersão. Com a aplicação do produto de limpeza multiuso, é possível observar o mesmo padrão de alteração estrutural em todas as amostras analisadas onde é visível o ressecamento da amostra e a formação de rachaduras.



Notam-se irregularidades e a presença de cristais não identificados na superfície da amostra na qual foi aplicado o limpador multiuso com esponja. Para amostra que permaneceu 24 horas em contato com o mesmo produto pode ser observado a presença de fissuras.

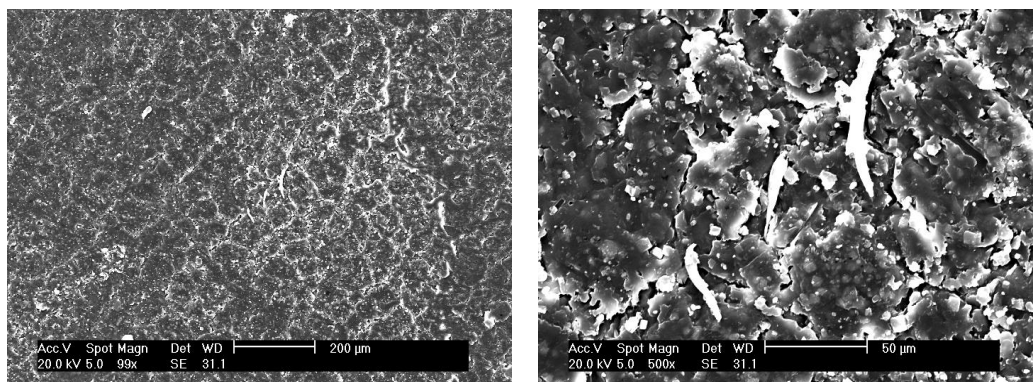


Figura 29: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação do produto de limpeza multiuso com algodão, em duas ampliações.

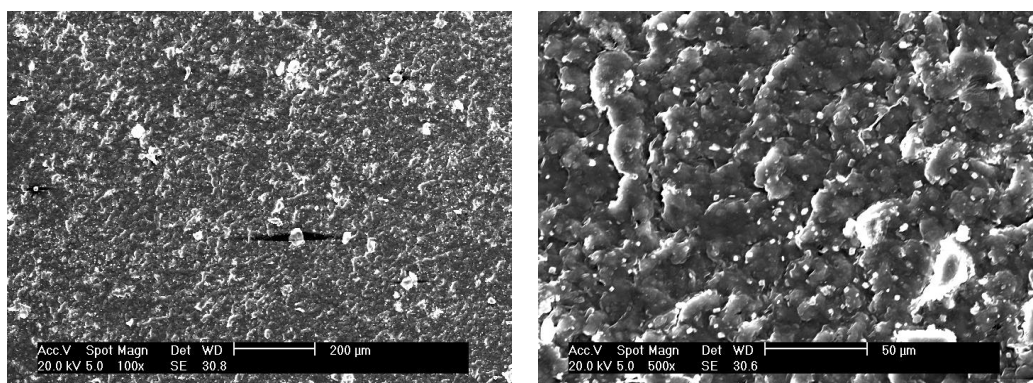


Figura 30: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação do produto de limpeza multiuso com esponja, em duas ampliações.

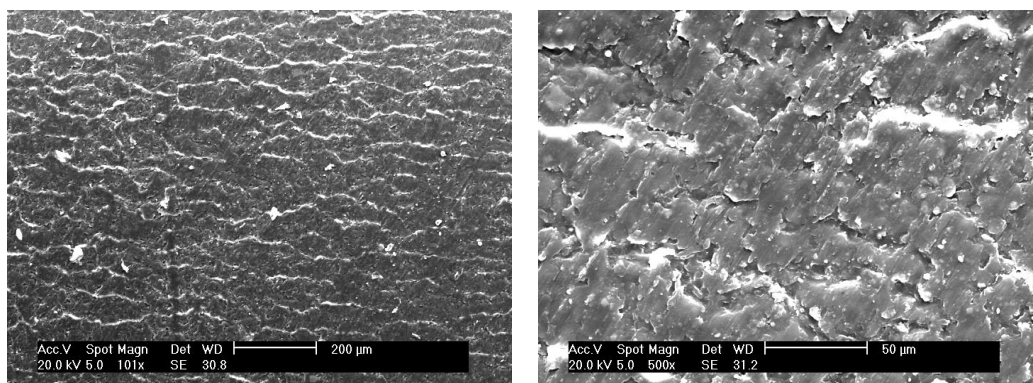


Figura 31: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação do produto de limpeza multiuso em ultrassom, em duas ampliações.

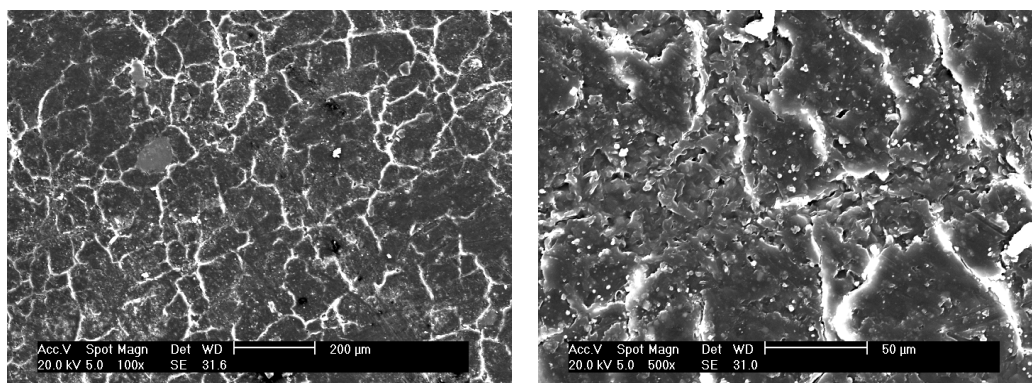


Figura 32: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação do produto de limpeza multiuso 24 horas em imersão, em duas ampliações.

As Figuras 33 a 36 apresentam as imagens da superfície do lençol após aplicação do produto importado A com algodão, esponja, ultrassom e 24h de imersão. Observa-se que em todas as formas de aplicação este produto gerou fissuras e descamação no lençol de borracha.

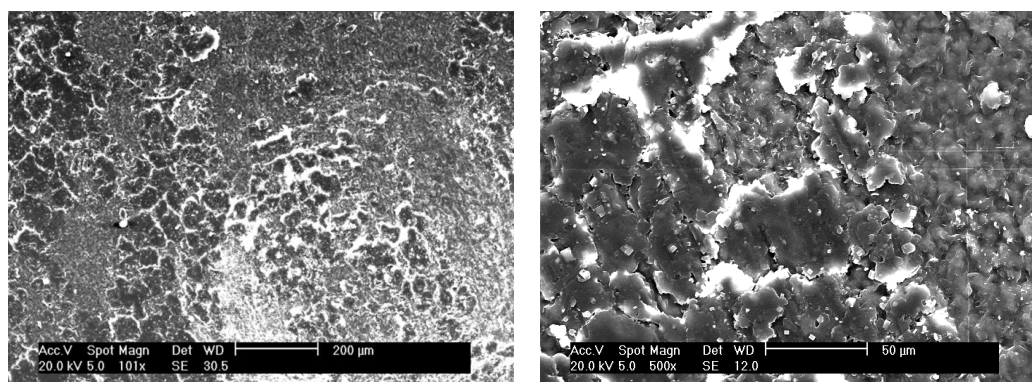


Figura 33: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação do produto importado A com algodão, em duas ampliações.

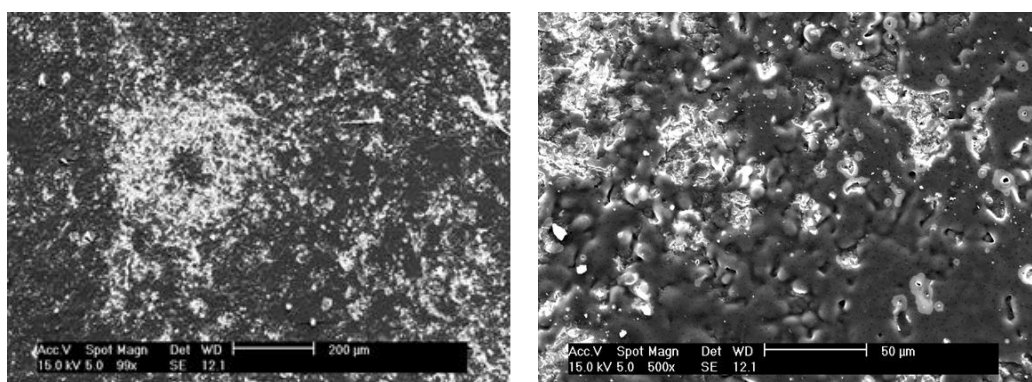


Figura 34: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação do produto importado A com esponja, em duas ampliações.

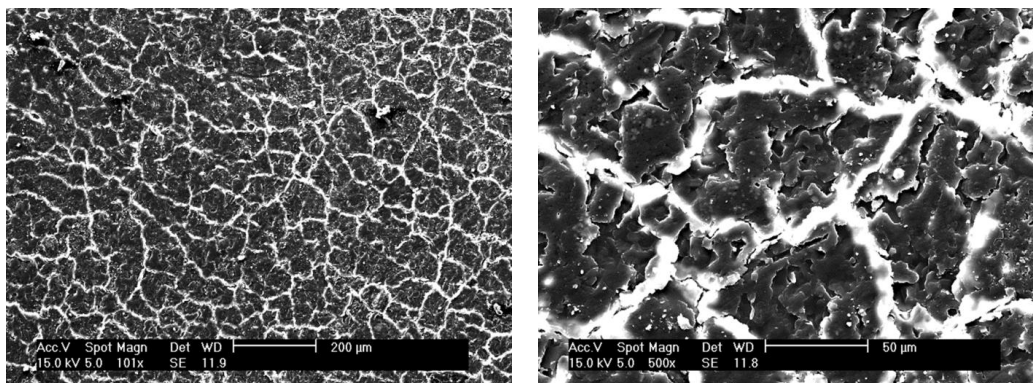


Figura 35: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação do produto importado A em ultrassom, em duas ampliações.

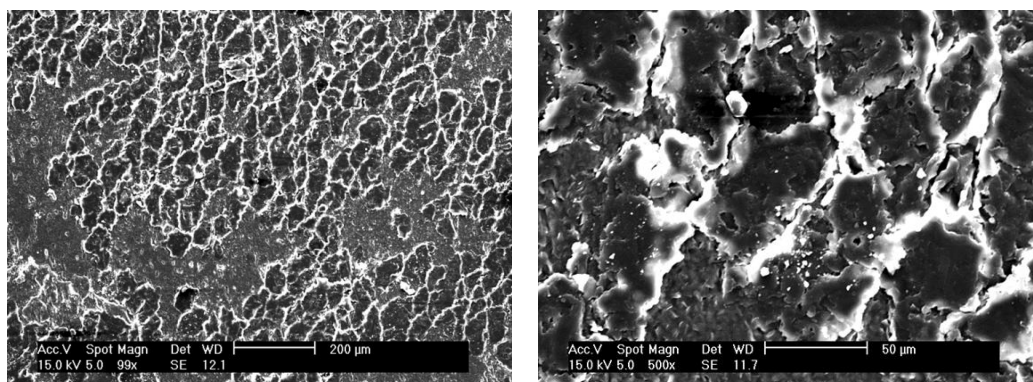


Figura 36: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação do produto importado A em imersão por 24 horas, em duas ampliações.

As Figuras 37 a 39 apresentam a imagem da superfície do lençol após aplicação de Lençol umedecido importado A diretamente, com ultrassom e após 24 horas em imersão. Na aplicação do produto de forma direta, e por ultrassom este produto gerou fissuras no material indicando que o produto é muito agressivo com o material elastomérico utilizado.

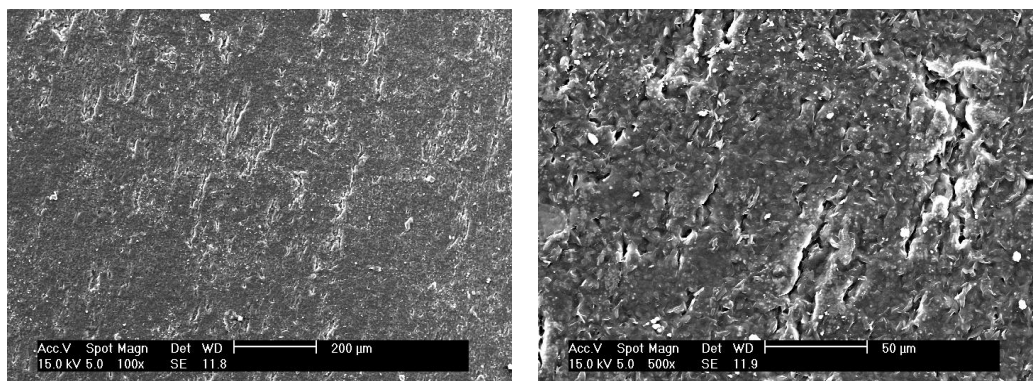


Figura 37: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação direta do lençol umedecido importado A, em duas ampliações.

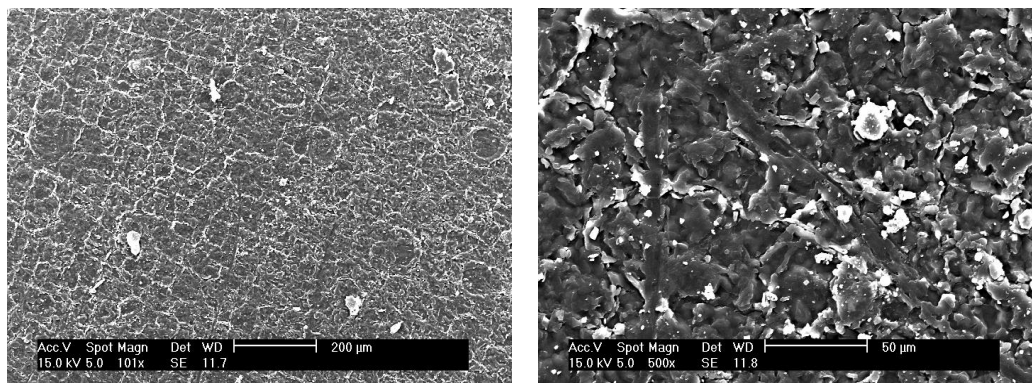


Figura 38: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação por ultrassom no lenço umedecido importado A, em duas ampliações.

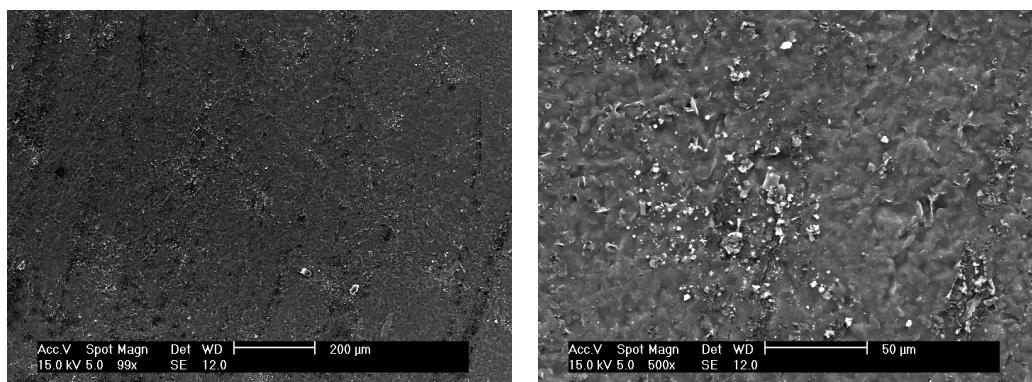


Figura 39: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação por imersão no lenço umedecido importado A, em duas ampliações.

As Figuras 40 a 42 apresentam as imagens da superfície do lençol após aplicação do lenço umedecido importado *B* diretamente, com ultrassom e após 24h de imersão. Na aplicação do produto de forma direta, e por ultrassom este produto gerou fissuras e ressecamento no material, detalhes não observados pela microscopia óptica.

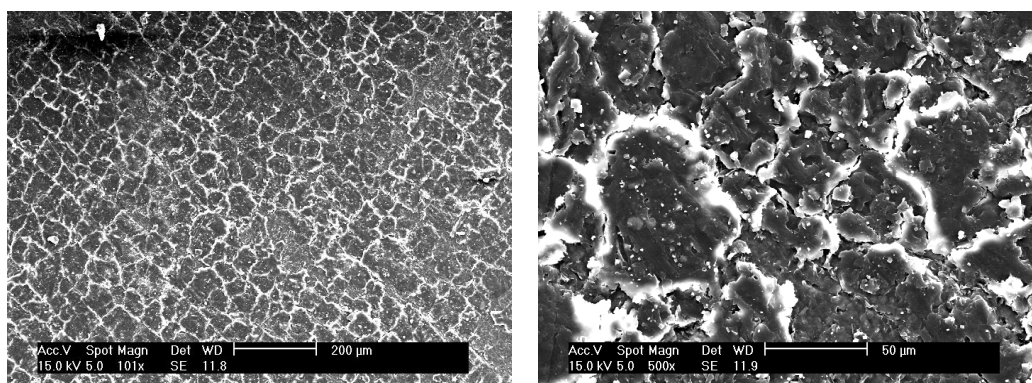


Figura 40: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação direta do lenço umedecido importado *B*, em duas ampliações.



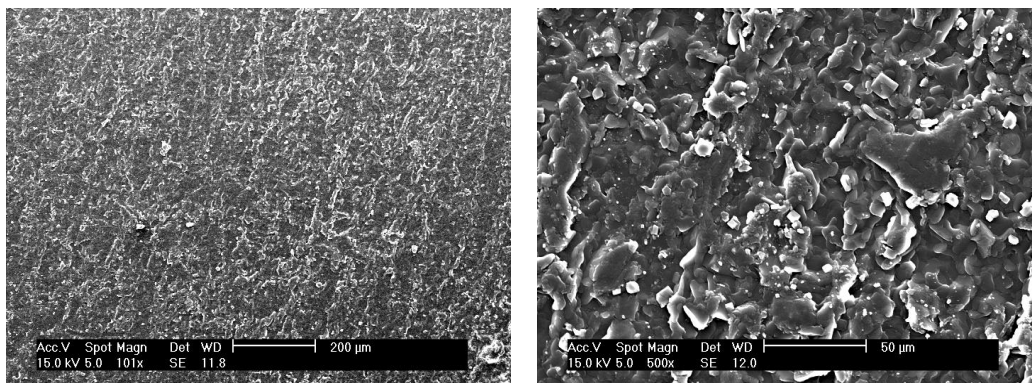


Figura 41: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação por ultrassom do lenço umedecido importado *B*, em duas ampliações.

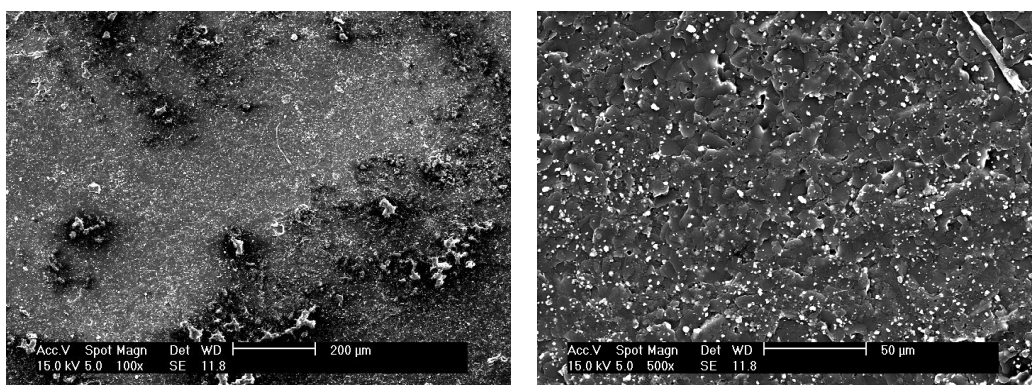


Figura 42: Imagens da superfície do lençol isolante após a aplicação por imersão do lenço umedecido importado *B*, em duas ampliações.

#### 4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.

Nas Figuras 43 e 44 estão apresentados os gráficos com os resultados de tensão de ruptura e alongamento, para as amostras em função do tempo de aplicação, por imersão, dos produtos de limpeza. Observa-se que ao longo do tempo de envelhecimento as propriedades mecânicas de tensão de ruptura e alongamento foram alteradas significativamente com a aplicação dos produtos de limpeza.

A imersão da borracha em água apresenta alterações leves, porém estão relacionadas ao envelhecimento térmico, devido à imersão ter sido realizada em estufa à 60°C.

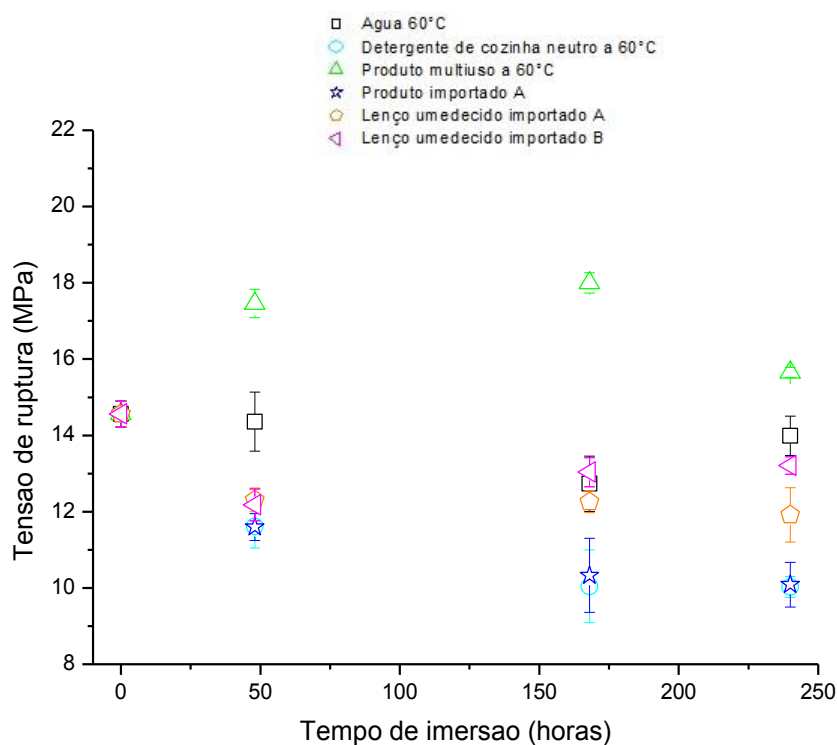


Figura 43: Tensão de ruptura em função do tempo de imersão em horas, com a borracha nos produtos comerciais.

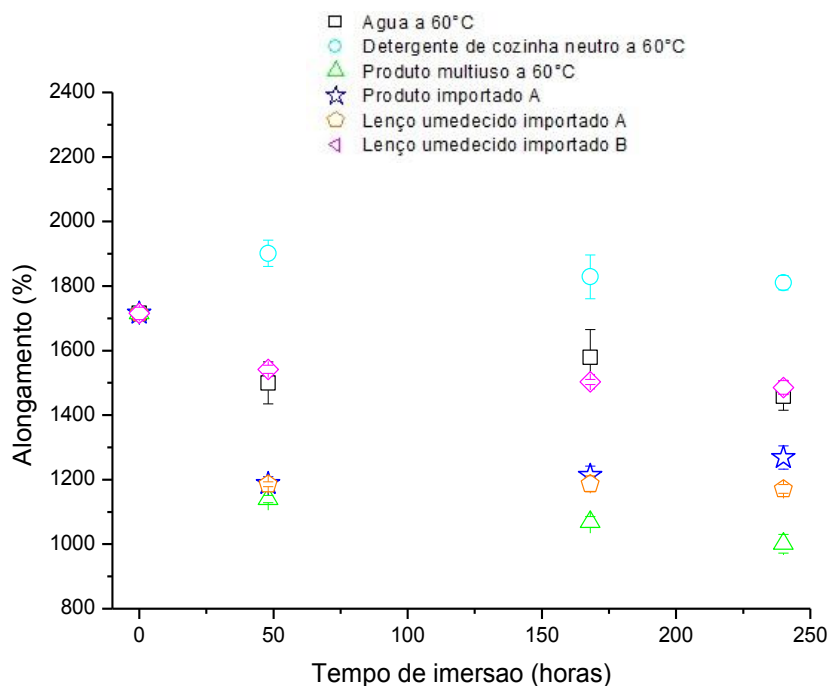


Figura 44: Alongamento em função do tempo de imersão em horas com a borracha nos produtos comerciais.

Para a amostra que foi imersa com o detergente de cozinha neutro observa-se que a tensão de ruptura diminuiu e o alongamento aumentou. O fenômeno observado pode ter ocorrido por haver permeação do detergente que

atuou como plastificante e/ou ocorreu à degradação do elastômero pela quebra de cadeias. Ambos os fatores são prejudiciais ao equipamento, pois se o detergente penetrou no polímero agindo como plastificante, além deixar o material com característica mais elástica e mais susceptível ao rasgo pode reduzir a resistividade elétrica do mesmo devido o detergente ter característica iônica. No caso de quebra de cadeias, que implica diretamente na degradação do material, o tempo de vida do equipamento poderá ser reduzido.

O produto de limpeza multiuso apresenta aumento nos valores de tensão de ruptura e redução no alongamento indicando possível degradação por aumento de entrecruzamento das cadeias poliméricas e/ou extração do plastificante presente na formulação da borracha [31].

Os resultados das amostras condicionadas com o produto importado *A*, apresentou redução da tensão de ruptura e do alongamento, isto pode ser devido à extração de componentes da borracha que foram mostrados através do ensaio de absorção, com a extração destes componentes, provavelmente plastificantes, o material elastomérico irá se tornar mais rígido.

O lenço umedecido importado *A* também apresentou redução na tensão de ruptura e no alongamento, este fator pode demonstrar a degradação do material elastomérico por quebra de cadeias.

O lenço umedecido importado *B* não apresentou alterações significativas levando em consideração o desvio padrão do ensaio, porém observa-se redução no alongamento, indicando uma possível degradação conforme o tempo de envelhecimento.

Com os resultados obtidos e análises realizadas verifica-se que a utilização desses produtos na limpeza dos EPI's e EPC's pode reduzir a vida útil destes equipamentos, justificando as observações da concessionária. O desenvolvimento de produtos que possam ter desempenho positivo torna-se importante.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE SUPERFICIAL E VOLUMÉTRICA

Nas Figuras 45 e 46 estão apresentados os gráficos com os resultados de resistividade superficial e volumétrica, para as amostras analisadas em função do tempo de aplicação, por imersão, dos produtos de limpeza. Observa que ao longo do tempo de envelhecimento as propriedades elétricas de resistividade superficial e volumétrica foram alteradas significativamente com a aplicação dos produtos de limpeza.

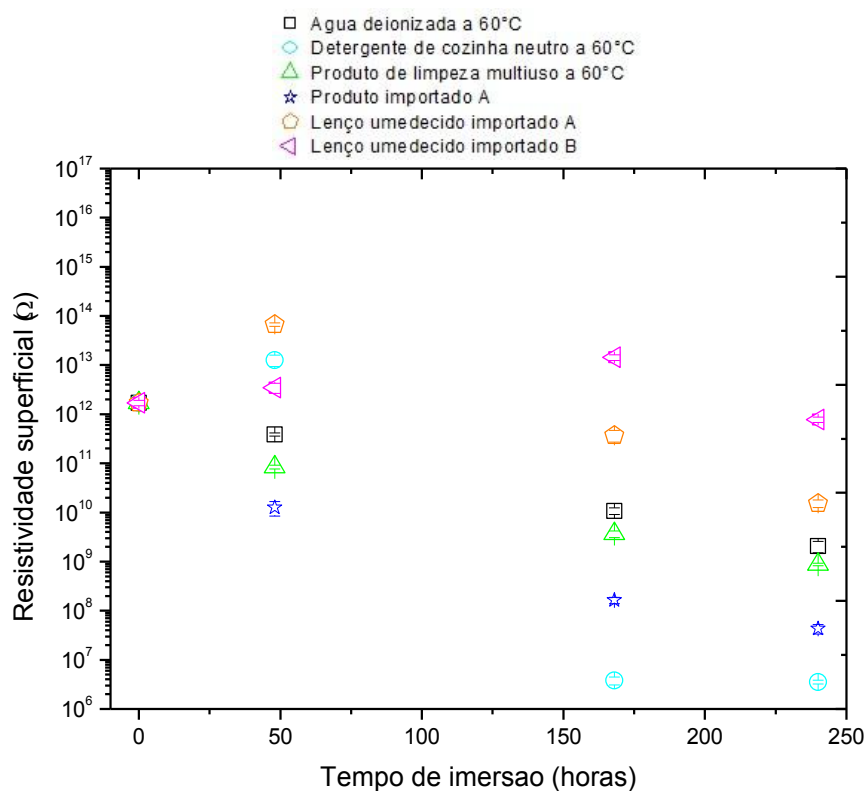
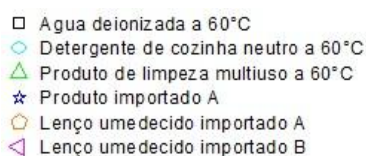


Figura 45: Variação da resistividade superficial em função do tempo de imersão da borracha nos produtos comerciais.





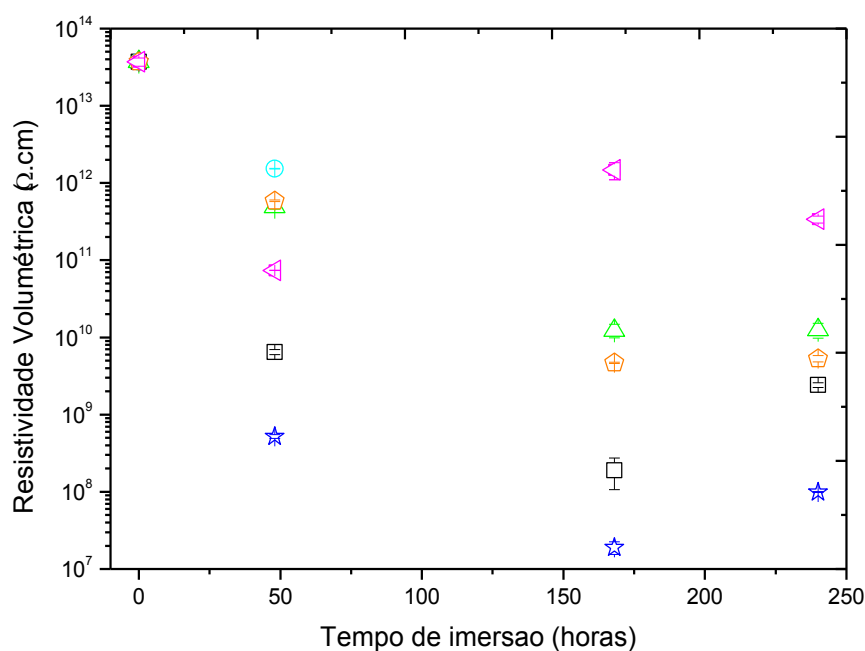


Figura 46: Variação da resistividade volumétrica em função do tempo de imersão da borracha nos produtos comerciais.

Para a amostra imersa com o detergente de cozinha neutro observa-se a redução na resistividade superficial com seis ordens de grandeza para os condicionamentos com 168 e 240 horas. Para a resistividade volumétrica, apenas conseguiu-se realizar a primeira medida com 48 horas em imersão, pois, os envelhecimentos posteriores causaram redução acentuada na resistividade de forma que não foi possível realizar a medida, uma vez que o equipamento possui um limite de corrente elétrica e a medida estava abaixo da faixa de medição. Este fato pode ser explicado devido ao caráter iônico do detergente, que possivelmente penetrou no volume do material aumentando a sua condutividade.

Uma mesma tendência de redução nas resistividades é observada para as amostras com os produtos: água deionizada a 60°C, produto de limpeza multiuso, produto importado A, lenço umedecido importado A. Nesse ensaio é possível confirmar que como mostrado nos ensaios de tração, que a temperatura é um agente degradante, pois, até mesmo a amostra com imersão em água obteve redução na sua resistividade. Para estas amostras foram obtidos valores abaixo de  $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ , o que indica que o elastômero está perdendo suas características isolantes.

O lenço umedecido importado *B*, mesmo com uma tendência decrescente da resistividade, foi o único produto que em contato com a borracha não alterou as propriedades elétricas de maneira tão acentuada como observadas nas demais amostras, mantendo a resistividade superficial em  $10^{11}\Omega$  e a volumétrica em  $10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$  o que indica que ainda é um material isolante.

A redução da resistividade indica que houve o aumento da condutividade elétrica que está diretamente associado ao aumento do número de portadores de carga disponíveis para o processo de condução quando submetidos à ação do campo elétrico. O processo de limpeza em imersão pode ter ocasionado a degradação do elastômero pela quebra de cadeias, bem como pode ter gerado novos grupos na estrutura do material, liberando assim portadores de carga elétrica.

## 4.6 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

### 4.6.1 Imagens de MEV com a aplicação dos produtos para a formulação

Na Figura 47 é visualizada a superfície do lençol isolante sem o condicionamento com produtos de limpeza, e servirá como referência para a avaliação da aplicação dos produtos para a formulação.

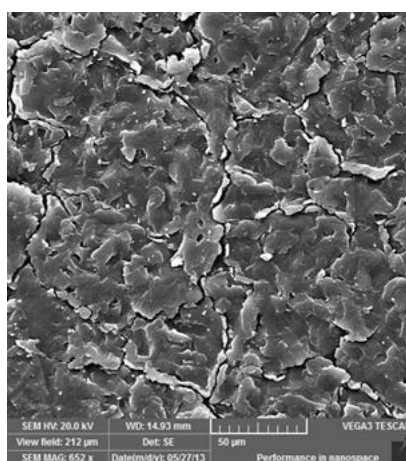


Figura 47: Imagens da superfície do lençol isolante sem condicionamento com produtos de limpeza.

Na Figura 48 é possível visualizar a superfície do lençol de borracha após a aplicação de dietanolamina 5%.

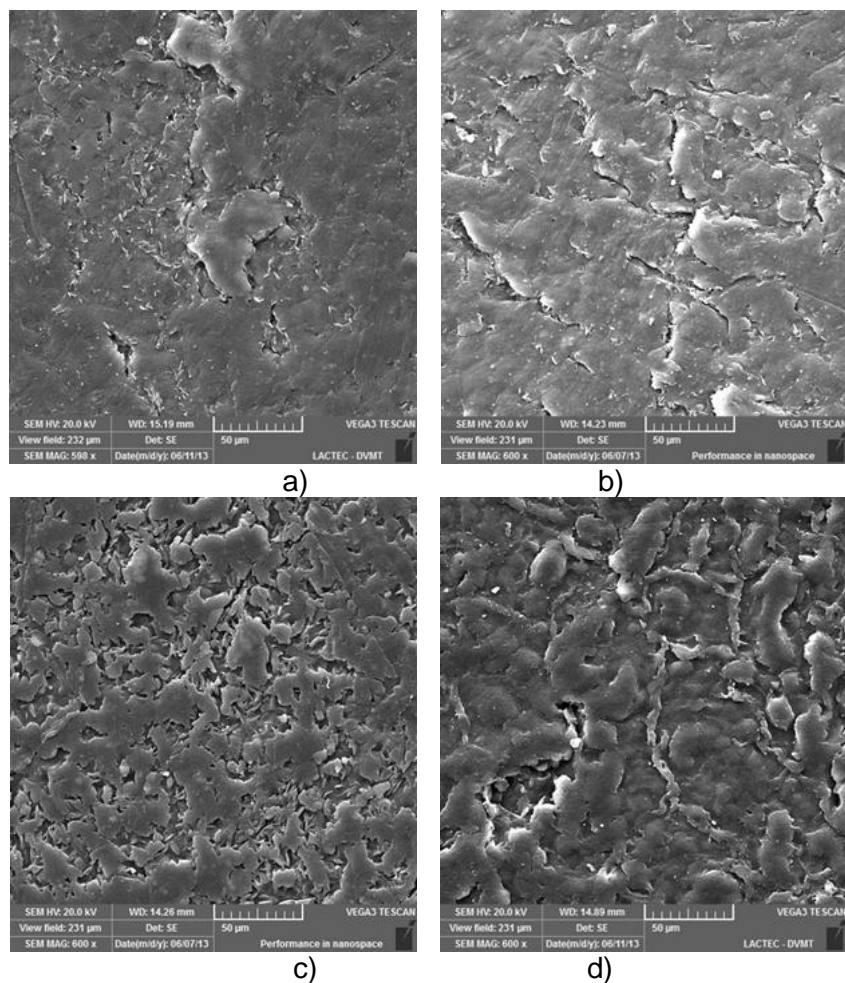
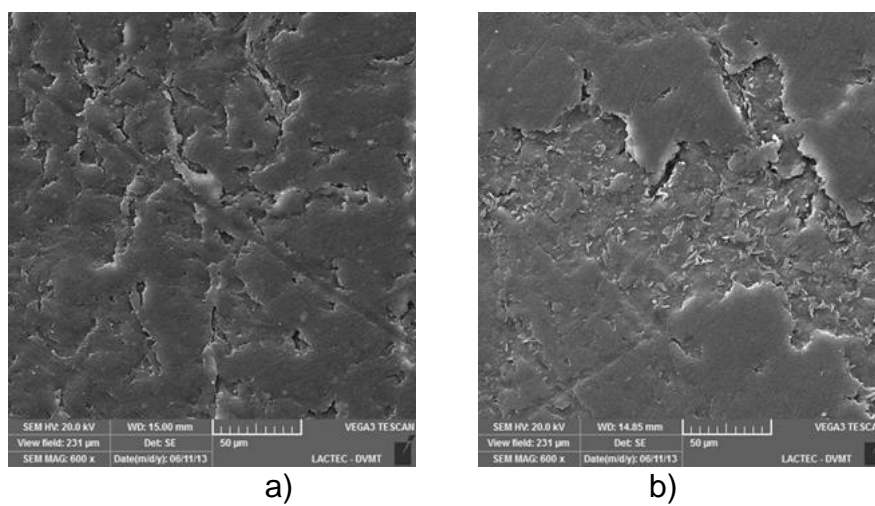


Figura 48: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação de dietanolamina 5%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 48 observa-se a superfície do lençol de borracha após a aplicação de dodecil sulfato de sódio 10%.



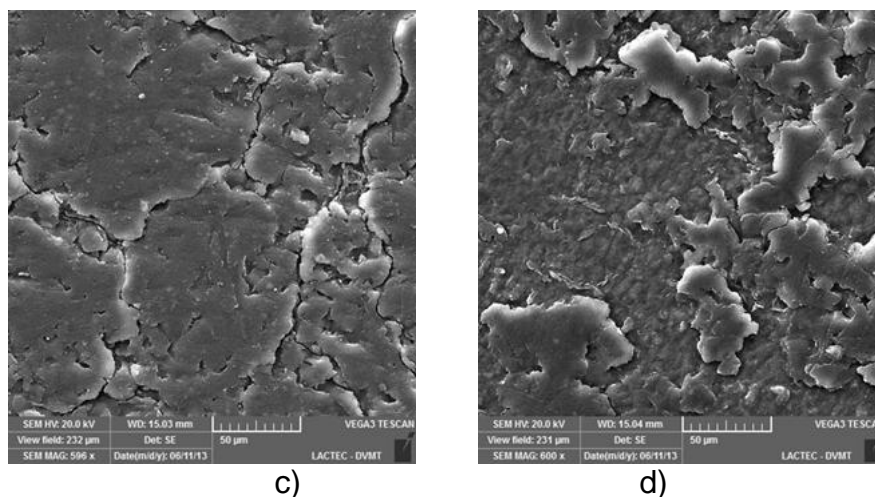
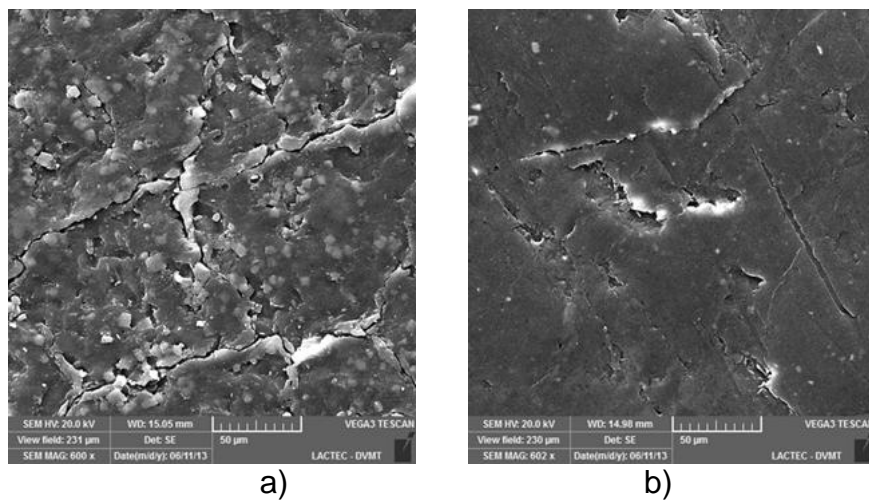


Figura 49: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com dodecil sulfato de sódio 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 50 é apresentada a superfície do lençol de borracha após a aplicação de etileno glicol 10%.



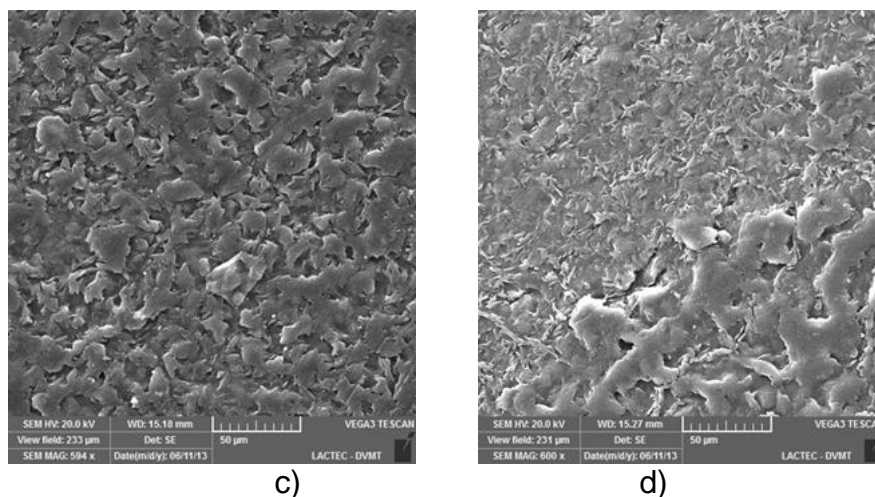
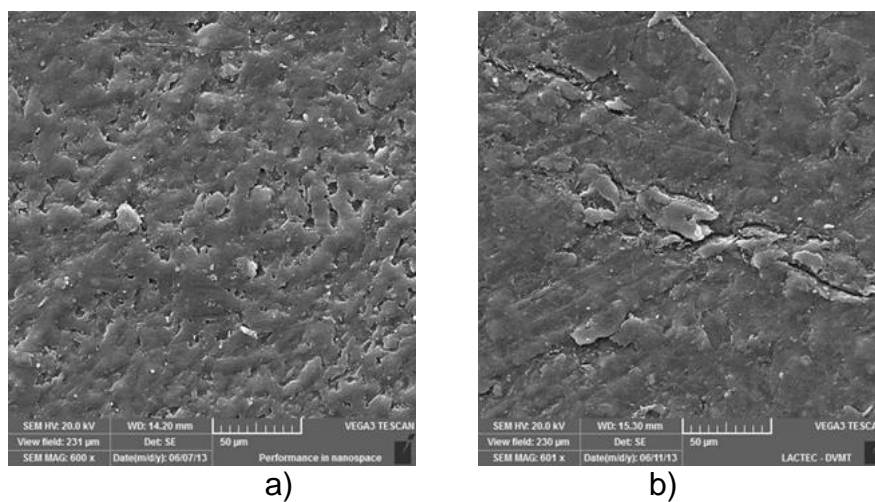


Figura 50: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com etileno glicol 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 51 é visualiza-se a superfície do lençol de borracha após a aplicação de glicerina 10%.



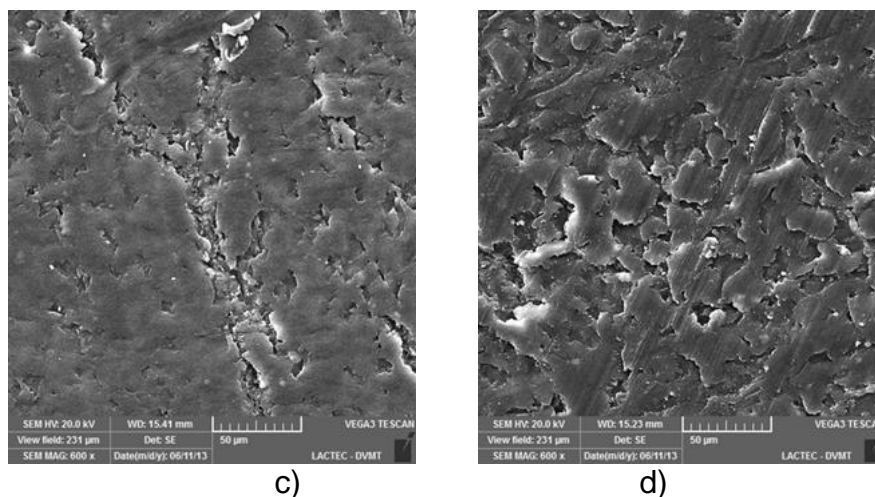
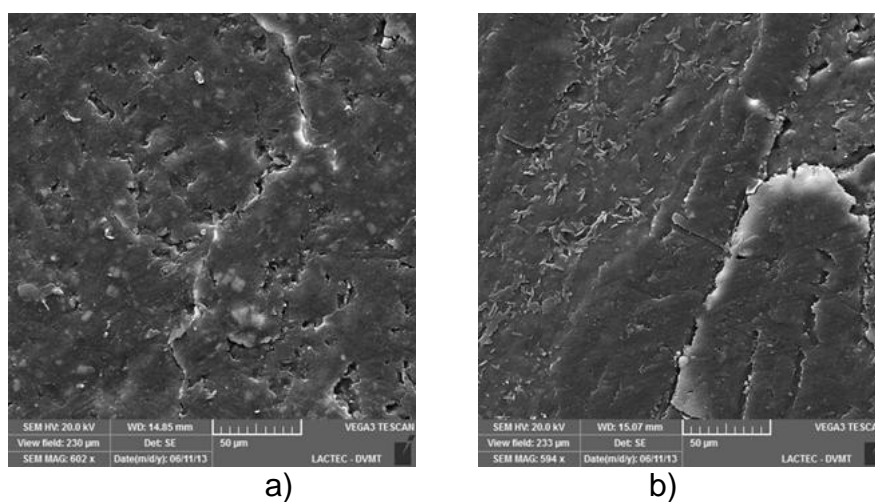


Figura 51: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com glicerina 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 52 é possível visualizar a superfície do lençol de borracha após a aplicação álcool isopropílico 8,5%.



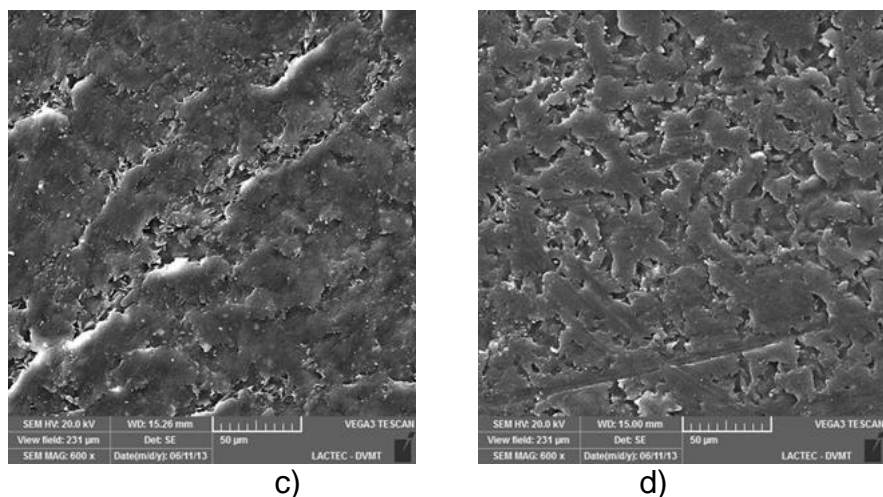
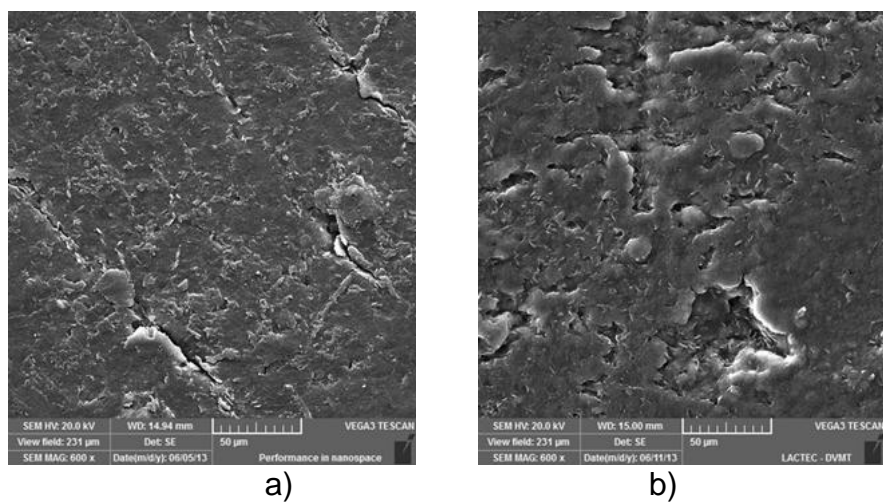


Figura 52: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com álcool isopropílico 8,5%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 53 é possível observar a superfície do lençol de borracha após a aplicação de vaselina líquida sem diluição.



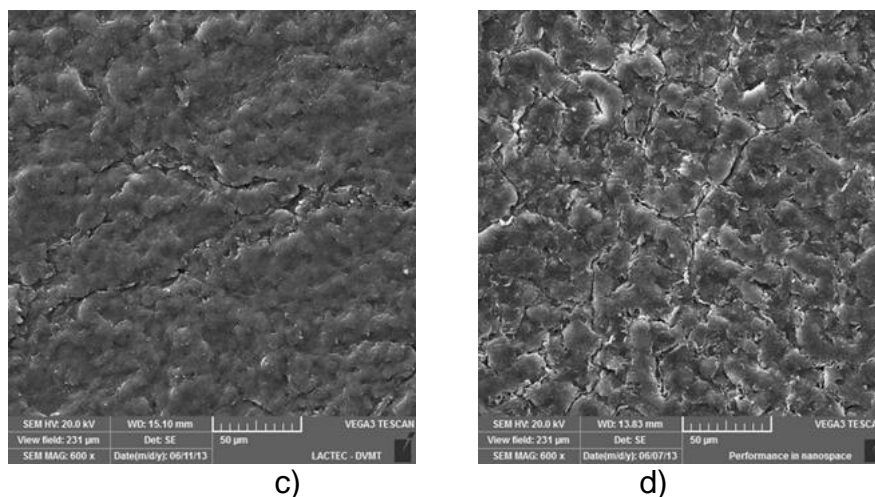
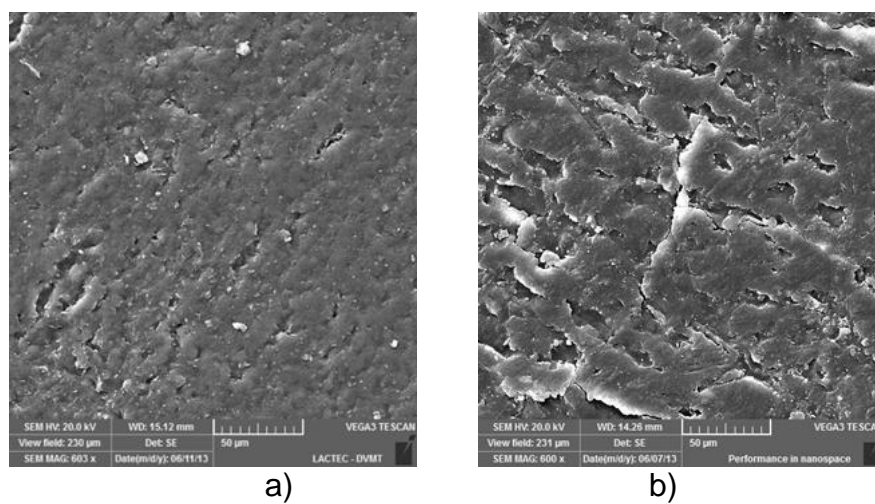


Figura 53: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com vaselina líquida sem diluição: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 54 apresenta a superfície do lençol de borracha após a aplicação de acetona 10%.





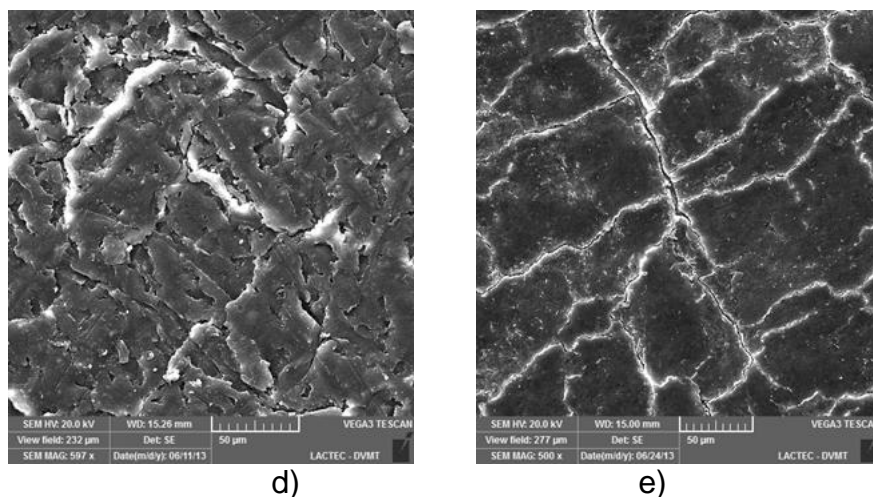
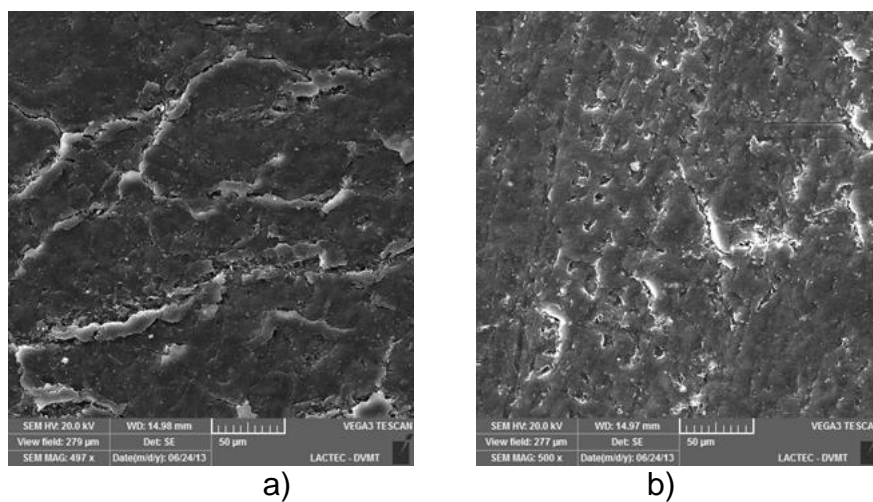


Figura 54: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com acetona 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 55 é possível visualizar a superfície do lençol de borracha após a aplicação de álcool cetosteárilico 2%.



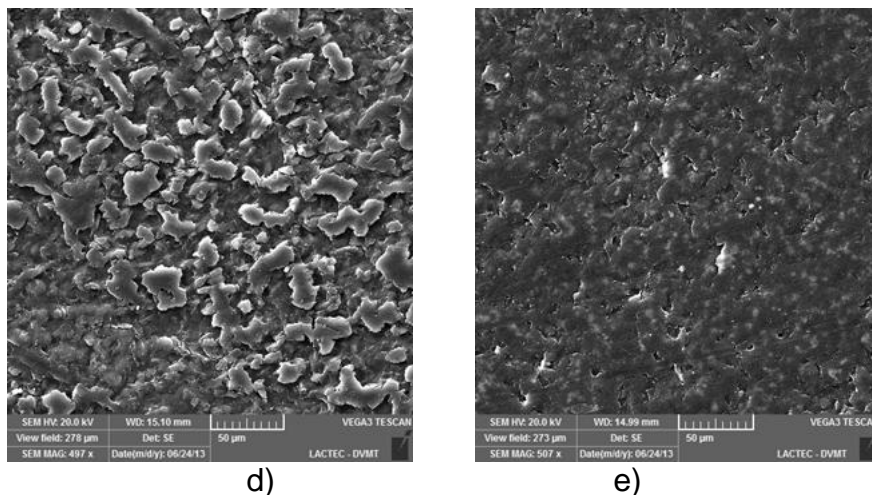
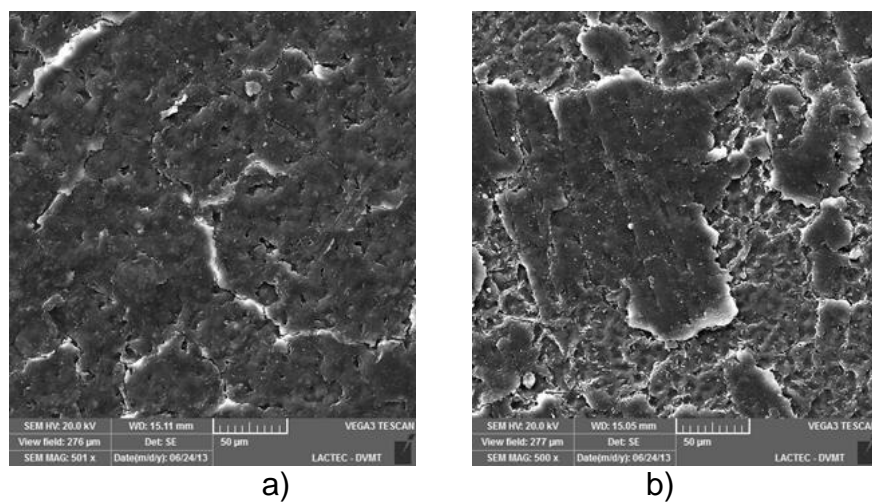


Figura 55: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com álcool cetosteárilico 2%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 56 observa-se a superfície do lençol de borracha após a aplicação de E.D.T.A 1%.



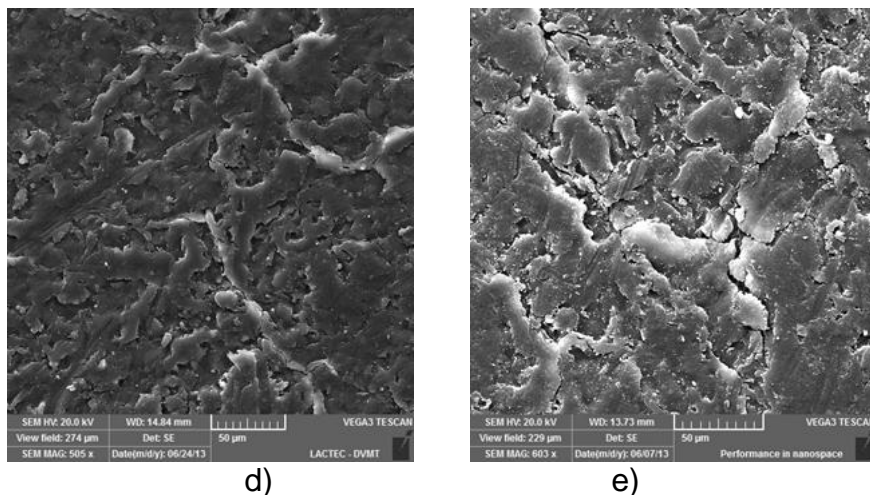
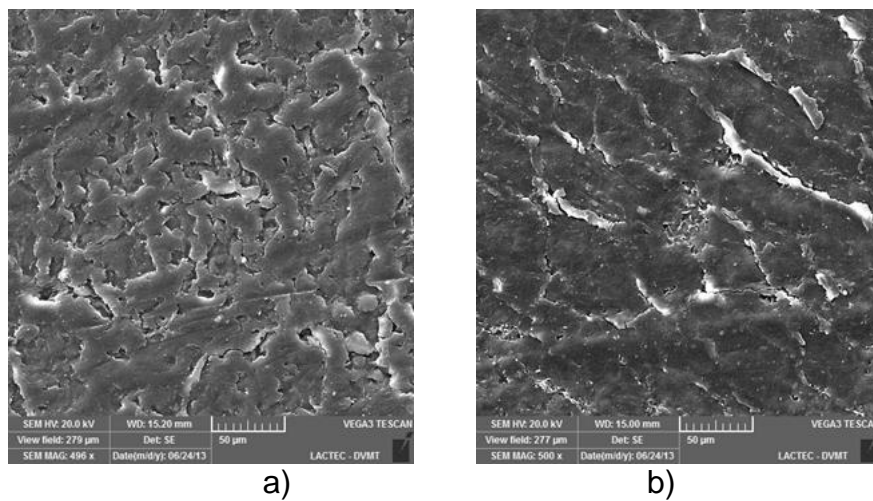


Figura 56: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com E.D.T.A. 1%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

Na Figura 57 verifica-se a superfície do lençol de borracha após a aplicação de trietanolamina 10%.



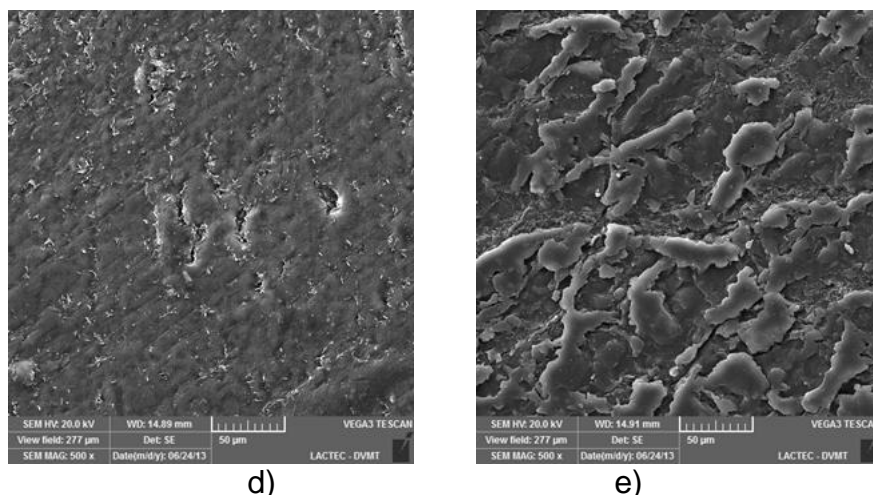


Figura 57: Imagens da superfície do lençol isolante após aplicação a imersão com trietanolamina 10%: a) aplicação com algodão; b) aplicação com esponja c) aplicação em ultrassom e d) 24 horas em imersão.

As aplicações realizadas com os produtos selecionados para a formulação demonstram que:

Como mostrado na Figura 48, a aplicação do produto dodecil sulfato de sódio apresenta remoção da primeira camada do elastômero, isso pode ter ocorrido devido o produto possuir em sua cadeia a parte apolar longa interagindo e quebrando as cadeias do lençol de borracha isolante. Este mesmo fenômeno ocorre quando é realizada a aplicação do álcool cetosteárilico como mostrado na Figura 55. Este produto também possui cadeia com a sua extremidade apolar longa.

A vaselina líquida como é um óleo mineral pode causar inchamento nos materiais elastoméricos, conforme a Figura 53 é possível observar que a amostra teve um aumento em sua rugosidade indicando inchamento do lençol de borracha isolante.

A acetona é um solvente e conforme a Figura 54 houve a formação de fissuras na superfície da amostra, podendo ter ocorrido a extração de componentes da borracha pelo solvente.

O dodecil sulfato de sódio, o álcool cetosteárilico, a vaselina líquida e a acetona apresentaram alterações significativas na superfície das amostras sendo descartada a utilização destes produtos nas formulações.

Os produtos: dietanolamina, glicerina, etilenoglicol, álcool isopropílico E.D.T.A. e, trietanolamina como mostrado nas Figuras 48, 50, 51, 52, 56 e 57 respectivamente, a aplicação destes produtos no lençol de borracha isolante,

apresentaram alterações, porém, foram em menor escala e demonstram que houve preservação da superfície das amostras desde que a aplicação não seja abrasiva e ou agressiva.

#### **4.6.2 Produtos selecionados para a formulação**

Com base nos dados obtidos anteriormente foram selecionados produtos para compor um possível produto que fizesse a limpeza dos equipamentos sem causar alterações negativas tanto elétricas como mecânicas, quando aplicados em amostras de borracha retiradas dos lençóis isolantes.

Os produtos selecionados foram:

a) - Dietanolamina - É um agente desengraxante, alcalinizante e neutralizante. Não foram encontradas indicações para a concentração rotulada a este produto, porém, se necessário será realizada uma adaptação desta concentração, já que sua concentração é determinada conforme o pH da formulação a ser realizada.

a) - Álcool Isopropílico - É um agente carregador, antibacteriano, solvente e solúvel em água, pois, é um composto polar. Para este produto recomenda-se o seu uso em produtos de limpeza uma concentração de 2 a 15% em água deionizada;

b) - Glicerina - É incorporada em produtos de limpeza como agente emoliente para atenuar o ressecamento da pele e ou superfícies delicadas, sendo também um agente umectante para a sua incorporação em produtos de limpeza recomenda-se concentrações de 5 a 15%;

c) - Etileno Glicol - É um anticongelante, lubrificante, umectante e também é um agente emoliente para atenuar o ressecamento da pele e ou superfícies. A recomendação de uso deste reagente é de 10%;

d) - Trietanolamina - É utilizada como agente neutralizante e emulsionantes, tem ações alcalinizantes, neutralizantes, espumantes, emulsificante e é inibidor de corrosão. Recomenda-se a concentração de 10% do produto avaliando-se o pH no qual deverá ser ajustado conforme necessário com a adição deste produto;

e) -EDTA - Sal Sódico do Ácido Etileno-DiaminoTetra - Acético usualmente conhecido apenas como EDTA, este sal é um estabilizante utilizado em produtos cosméticos em função de sua propriedade quelante e previne que os componentes da formulação se liguem a alguns metais (elementos-traço) que podem estar presente na água ou em algum dos ingredientes. Esta ação quelante é importante, pois caso ocorra a ligação de algum ingrediente da formulação com os metais, podem ocorrer alterações na textura, consistência, coloração, odor ou mesmo diminuição da atividade do produto. Desta forma, a adição do EDTA ajuda a obter formulações mais estáveis. As concentrações variam até no máximo 1%.

Com estes produtos realizou-se 3 formulações diferentes e denominadas como PD01, PD02 e PD03.

- a) PD01: Formulação composta por: Trietanolamina, Glicerina, Etilenoglicol, E.D.T.A, e água deionizada;
- b) PD02: Formulação composta por: Dietanolamina, Glicerina, Etilenoglicol, E.D.T.A, e água deionizada;
- c) PD03: Formulação composta por: Álcool Isopropílico, Etilenoglicol e água deionizada.

As formulações realizadas foram adaptadas conforme estudos bibliográficos [59]. Em função das imagens de microscopia a metodologia de aplicação menos agressiva demonstrou ser a aplicação com lenço umedecido, esta metodologia de aplicação irá ser utilizada para aplicar os produtos desenvolvidos.

#### 4.6.3 pH e condutividade dos produtos formulados

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados do ensaio de pH e condutividade dos produtos formulados.

Tabela 4: Resultados de pH e condutividade dos produtos formulados.

Amostra	pH	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
PD01	10,2	952
PD02	9,3	1612

<b>PD03</b>	8,2	12,45
-------------	-----	-------

Devido à característica com tendências ácidas das sujidades constatou-se que o produto de limpeza deve ter características básicas. Neste quesito todos os produtos se enquadram, porém, o produto deve possuir a condutividade baixa, neste quesito apenas o produto PD03 se enquadrar. Para esse ensaio não houve diluição das formulações.

#### 4.6.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

Com a imagem da Figura 58, é possível visualizar a amostra de lençol de borracha sem o condicionamento dos produtos.

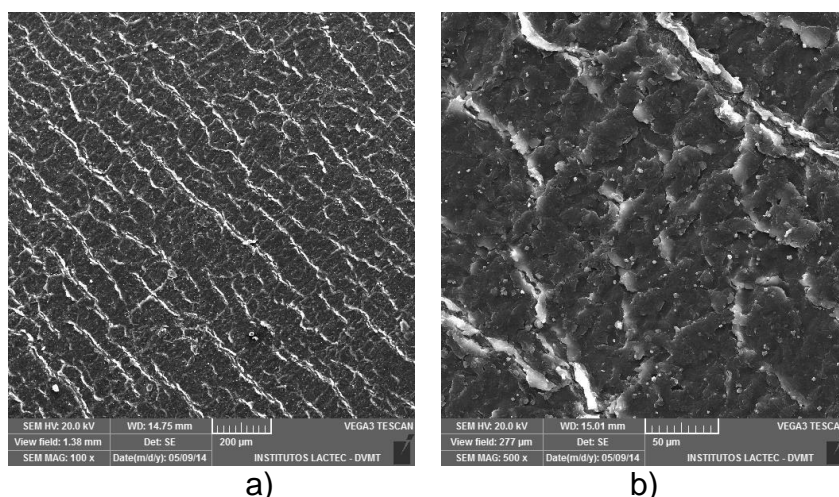


Figura 58: Imagens da superfície do lençol isolante sem o condicionamento com produtos de limpeza.

Com a imagem da Figura 59, é possível visualizar a amostra de lençol de borracha com a aplicação de lenço umedecido com o produto PD01.

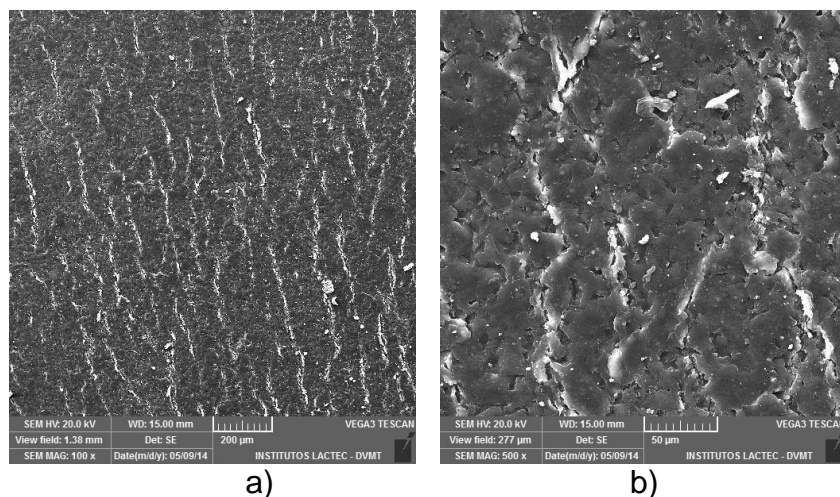


Figura 59: Imagens da superfície do lençol isolante com a aplicação da formulação PD01.

Com a imagem da Figura 60, é possível visualizar a amostra de lençol de borracha com a aplicação de lenço umedecido com o produto PD02.

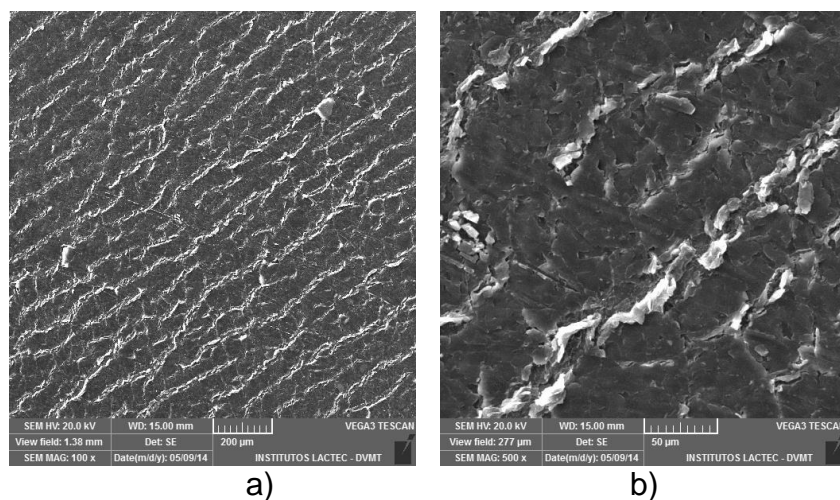


Figura 60: Imagens da superfície do lençol isolante com a aplicação da formulação PD02.

Com a imagem da Figura 61, é possível visualizar a amostra de lençol de borracha com a aplicação de lenço umedecido com o produto PD03.



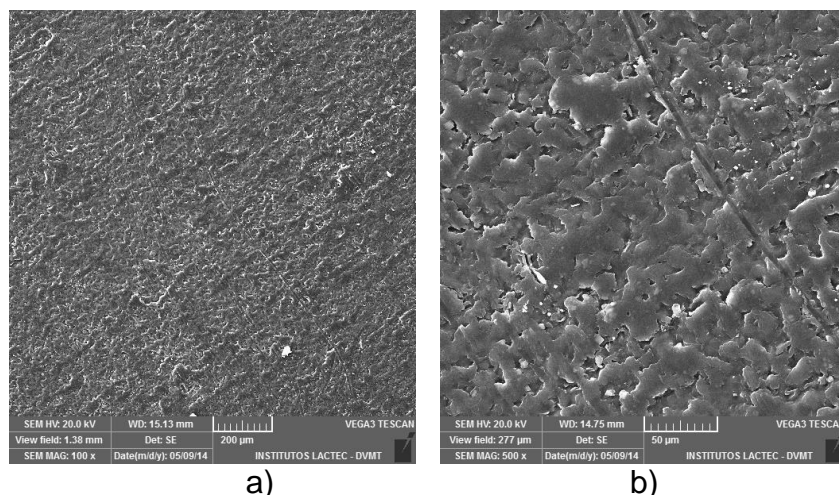


Figura 61: Imagens da superfície do lençol isolante com a aplicação da formulação PD03.

Com as imagens das Figuras 59, 60 e 61 é possível observar que em relação com as imagens das amostras sem o condicionamento com os produtos de limpeza observados na Figura 58, as amostras submetidas à aplicação dos produtos desenvolvidos PD01, PD02 e PD03 não apresentaram alterações significativas, pois, mantiveram as suas características semelhantes à amostra sem condicionamento, indicando que não houve abrasão na metodologia de aplicação e nem interação por parte dos produtos aplicados.

#### 4.6.5 Resultados de resistência à tração dos elastômeros condicionados com os produtos formulados.

Para os produtos intitulados PD01, PD02 e PD03 os resultados de tensão de ruptura e alongamento podem ser visualizados nas Figuras 62 e 63.

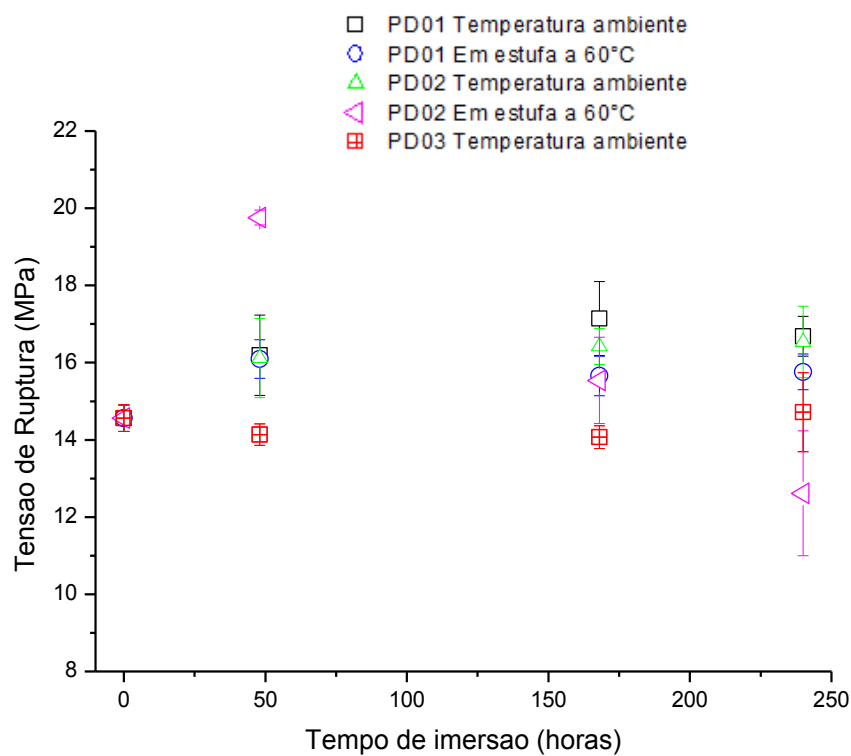


Figura 62: Tensão de ruptura em função do tempo de imersão da borracha nos produtos formulados.

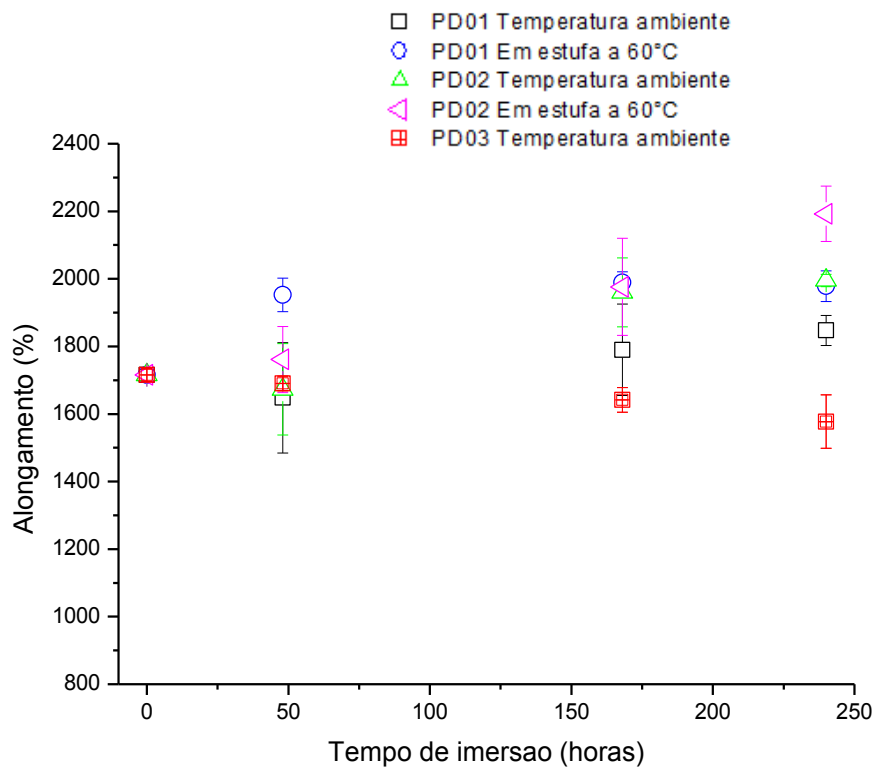


Figura 63: Alongamento em função do tempo de imersão da borracha nos produtos formulados.

Nas Figuras 62 e 63 é possível visualizar os gráficos de tensão de ruptura e de alongamento em função do tempo para as amostras de lençol de borracha isolante condicionada com os produtos desenvolvidos.

A amostra de lençol de borracha isolante condicionada com produto desenvolvido PD01 em estufa á 60°C, no primeiro ponto de envelhecimento, sendo o de 48 horas em imersão, ocorreu o aumento da tensão de ruptura e alongamento, podendo ter ocorrido o entrecruzamento do elastômero, e nos condicionamentos com 168 e 240 horas, houve a redução da tensão de ruptura e o alongamento obteve o mesmo padrão de aumento podendo ser indícios de plastificação das cadeias elastoméricas [33].

Na amostra de lençol de borracha isolante condicionada com o produto PD02 houve o aumento na tensão de ruptura e no alongamento indicando possível permeação do produto que atuará como plastificante, para o lençol de borracha isolante [34].

Para as amostras de lençol de borracha isolante condicionados com os produtos PD01 e PD02 em temperatura ambiente também ocorreram alterações na mesma tendência das amostras com o condicionamento em estufa a 60°C, porém, em menor escala, o que pode ser resultante da formulação estar em uma alta concentração podendo ser diluída futuramente.

O produto PD03 em temperatura ambiente apresentou ótimos resultados não tendo alterações na tensão de ruptura e no alongamento, como o produto PD03 possui álcool em sua formulação o mesmo não pôde ser colocado em estufa a 60 °C.

Nas Figuras 62 e 63 é possível visualizar nos gráficos, que como relatado anteriormente a temperatura interfere nas propriedades da borracha, quando aplicada simultaneamente com um produto de limpeza, fazendo com que as alterações sejam maiores.

#### **4.6.6 Resistividade superficial e volumétrica**

Para os produtos intitulados PD01, PD02 e PD03 os resultados de resistividade superficial e volumétrica podem ser visualizados nas Figuras 64 e

65.

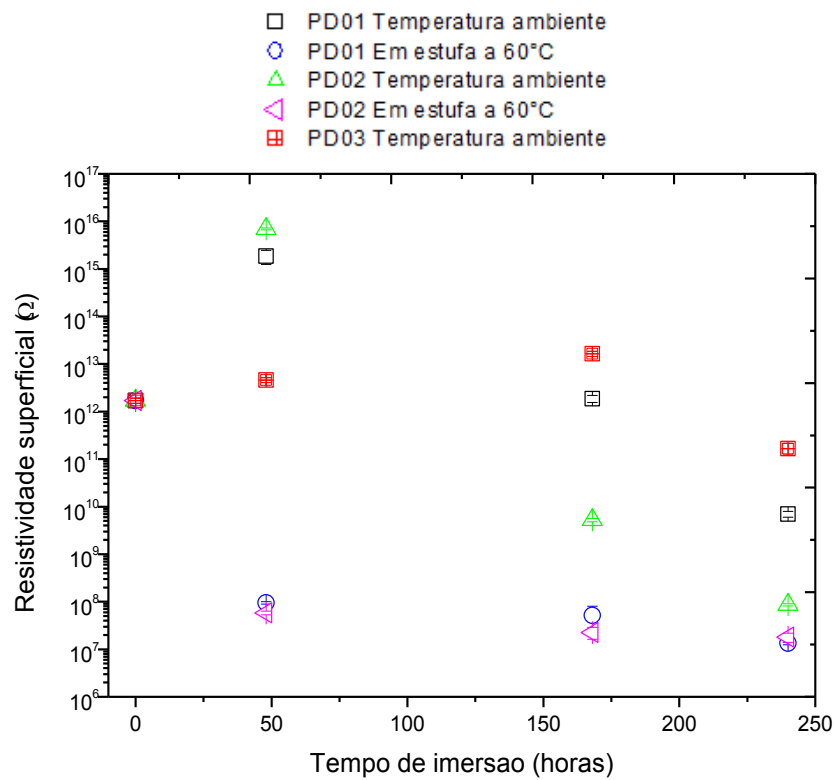


Figura 64: Resistividade superficial em função da imersão do lençol de borracha com os produtos formulados

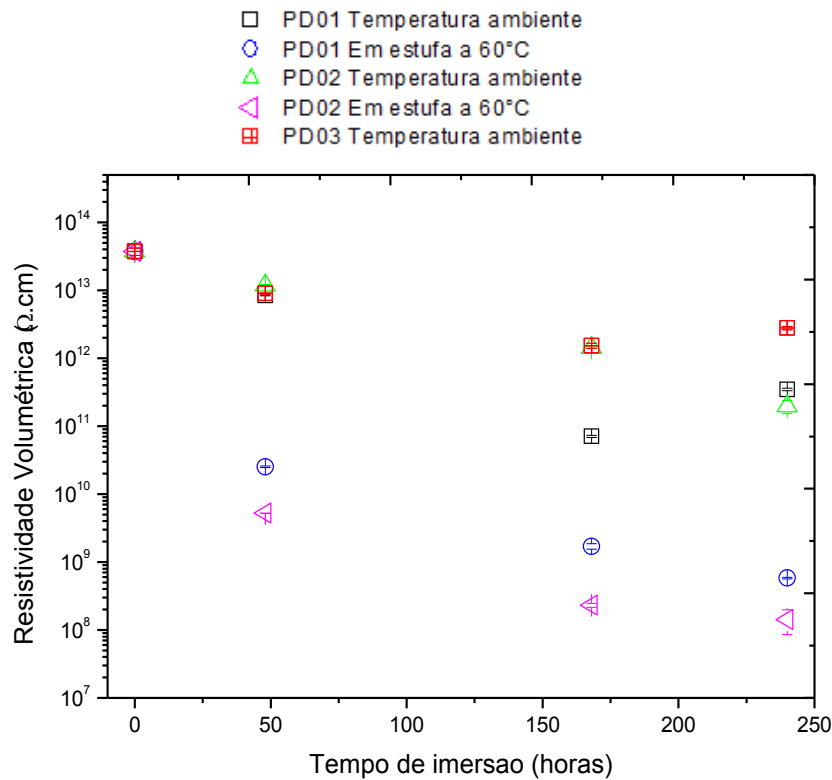


Figura 65: Resistividade volumétrica em função da imersão do lençol de borracha com os produtos formulados.

As amostras PD01 e PD02 em estufa a 60°C obtiveram reduções consideráveis nas resistividades e avaliando-se as ordens de grandeza tornaram-se menos isolantes.

As amostras PD01 e PD02 em temperatura ambiente não obtiveram reduções bruscas nas resistividades, porém, mostram dados decrescentes e com mais de duas ordens de grandeza em relação à amostra nova, demonstrando que os produtos não apresentam boa compatibilidade com o elastômero das amostras.

A amostra PD03, do mesmo modo que no ensaio de tração mecânica não apresentou alterações significativas nas resistividades superficial e volumétrica, estando elas dentro do desvio padrão do ensaio que varia em torno de  $10^{11}$  não alterando em mais que uma ordem de grandeza.

#### **4.6.7 Comparativo entre produtos comerciais e o formulado, ensaio de tração mecânica**

Os gráficos das imagens 66 e 67 mostram o comparativo dos produtos comerciais e do produto formulado que obteve melhor desempenho, que foi o produto PD03.

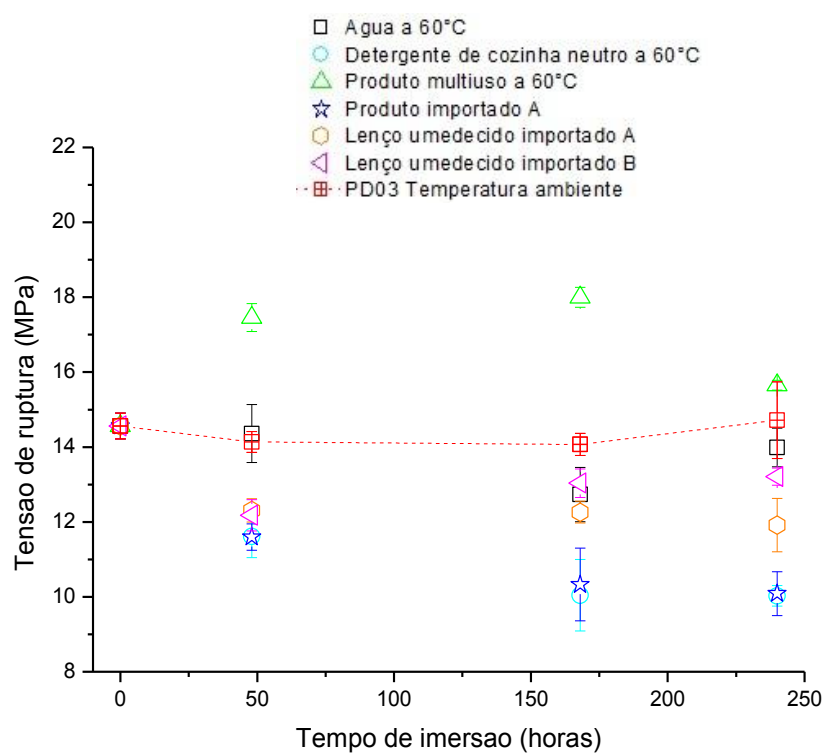


Figura 66: Variação da tensão de ruptura em função do tempo da borracha nos produtos formulados comerciais e o formulado

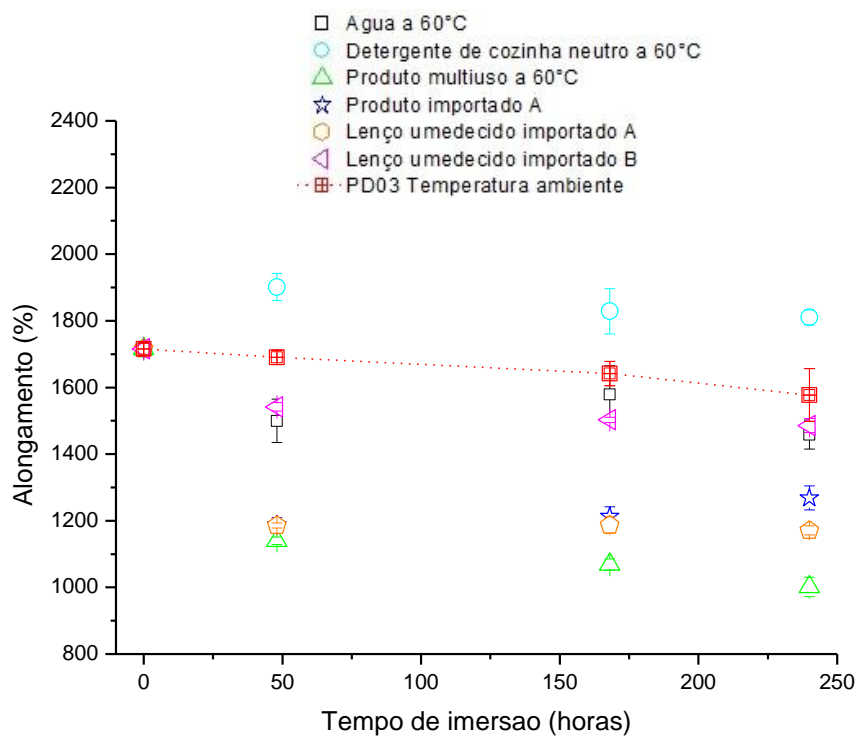


Figura 67: Variação do alongamento em função do tempo de imersão da borracha nos produtos formulados comerciais e o formulado.

Observando-se os gráficos das Figuras 66 e 67 verifica-se que o produto PD03 não apresentou alterações significativas na tensão de ruptura e alongamento quando comparado à situação sem a interação (0 h), estando com as medidas dentro do desvio padrão. Quando comparados aos produtos comerciais verifica-se claramente a melhor compatibilidade mecânica do mesmo com a borracha natural das amostras.

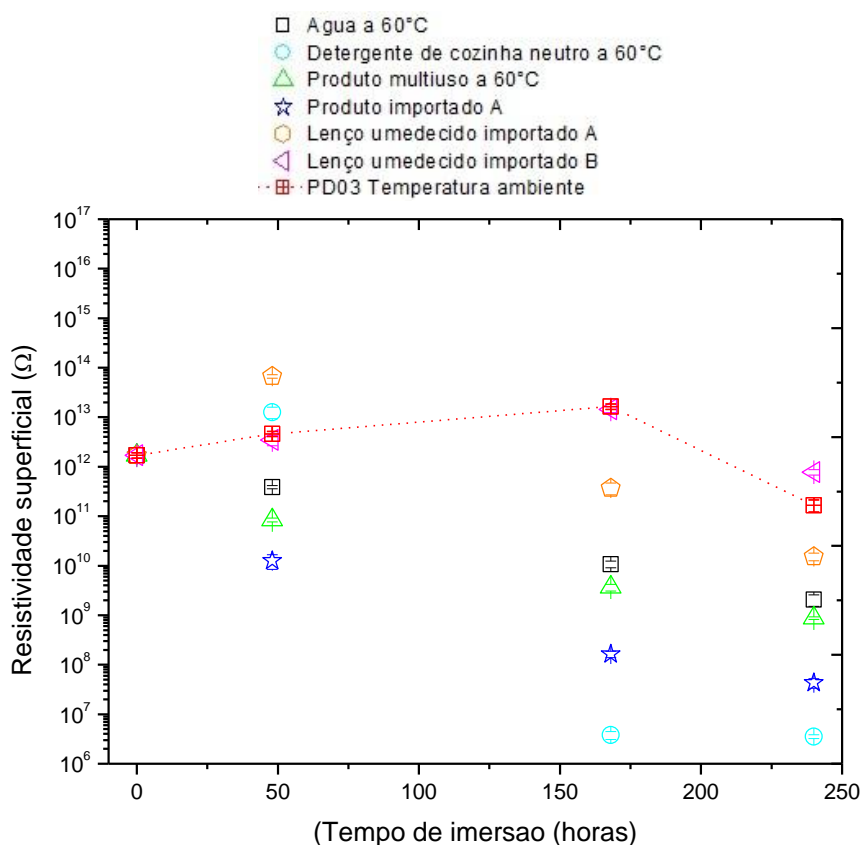


Figura 68: Variação da resistividade superficial em função do tempo de imersão da borracha nos produtos comerciais e o formulado.

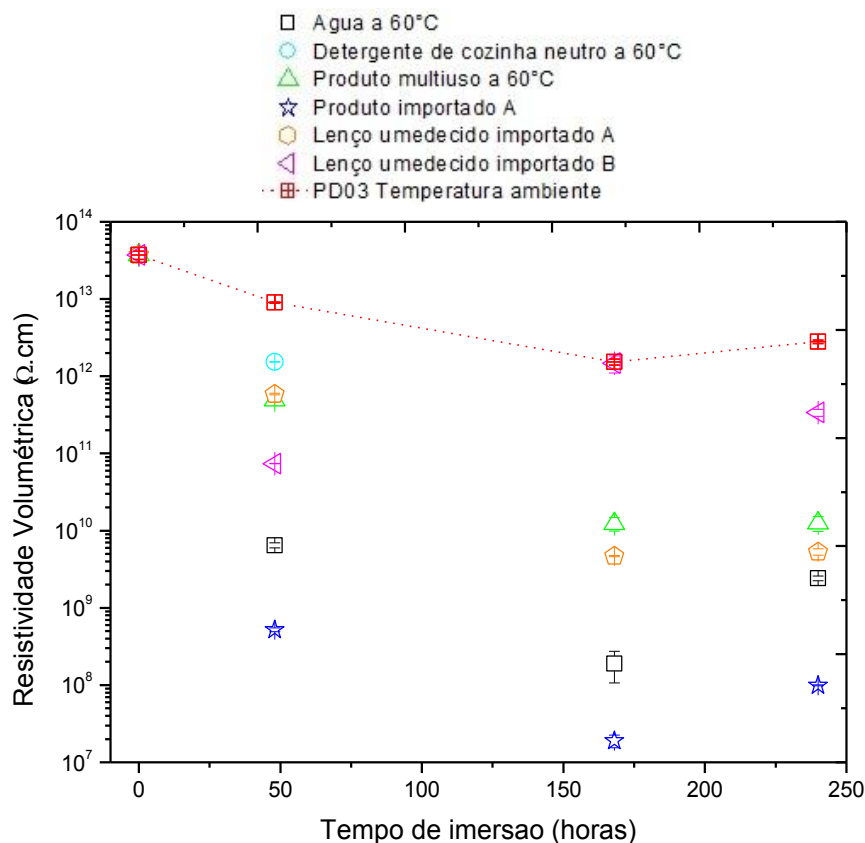


Figura 69: Variação da resistividade volumétrica em função do tempo de imersão da borracha nos produtos comerciais e o formulado.

Observando-se os gráficos das Figuras 68 e 69 pode-se verificar que o produto PD03 apresentou alterações na medida da resistividade superficial e volumétrica dentro do estabelecido pela norma técnica ASTM D 257-93, apresentando assim compatibilidade elétrica com as amostras de borracha retiradas do lençol isolante. Quando comparados com os produtos comerciais verifica-se que o produto apresenta o melhor desempenho em termos de compatibilidade elétrica.

Os gráficos das Figuras 66 a 69 mostram o comparativo, das propriedades de resistência à tração, alongamento e resistividade superficial e volumétrica, dos produtos comerciais e do produto formulado que mostrou melhor desempenho (PD03). Observa-se que a menor variação, ao longo do tempo de interação, foi obtida pelo produto formulado, indicando que esse produto possui compatibilidade elétrica e mecânica para os materiais elastoméricos quando aplicado na remoção de sujidades, fundamentado na norma ASTM D 412 o material condicionado ao envelhecimento não deve



alterar de maneira significativa as propriedades da borracha. O produto PD03 está indicado para aplicação em equipamentos de segurança utilizados na manutenção de redes energizadas.

#### 4.6.8 Avaliação visual da eficácia de limpeza do produto PD03.

As imagens da Figura 70 a), b) e c) apresentam a amostra de lençol, onde foi aplicado fluido de motor, que é considerada uma sujeidade normalmente presente nos equipamentos e de difícil remoção.

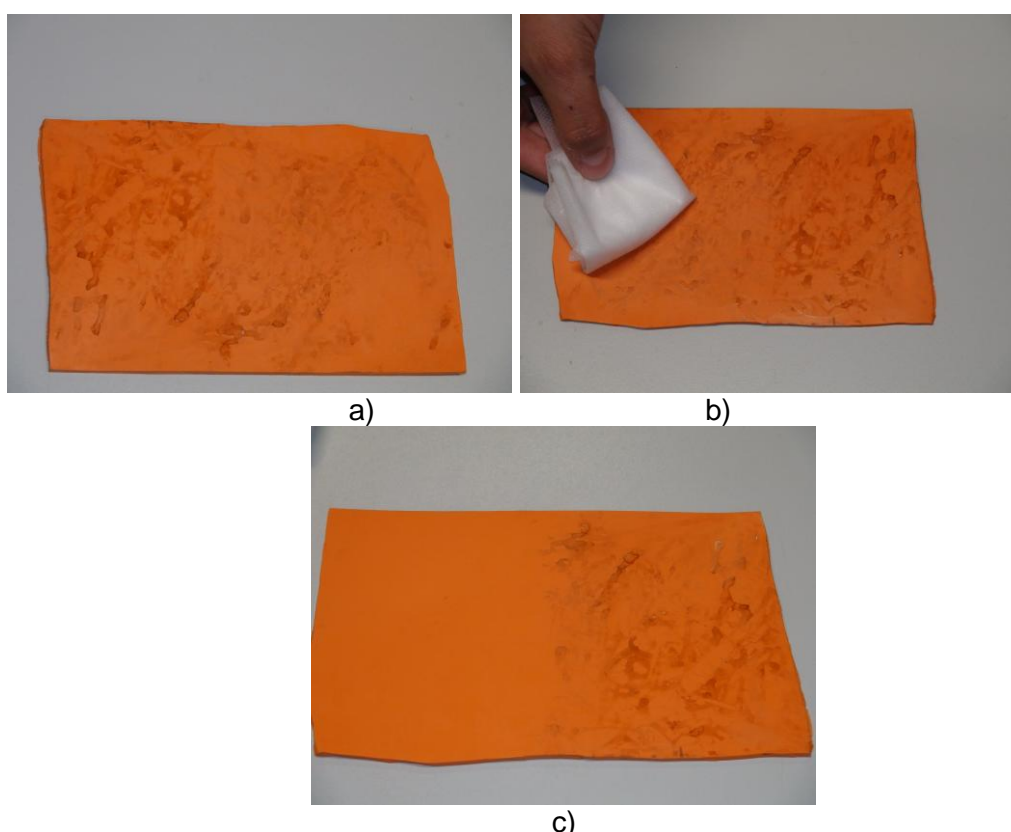


Figura 70: Limpeza do lençol de borracha isolante, a) amostra com sujeidade, b) amostra em processo de limpeza e c) amostra com após a realização da limpeza.

Com as imagens da Figura 70, é possível observar que e a) está a amostra com a sujeidade, em b) em processo de limpeza e em c) após a realização da limpeza. É possível afirmar que o produto PD03 promoveu a remoção das sujidades, considerada de difícil remoção, não havendo a necessidade da imersão da amostra no produto de limpeza, apenas houve a aplicação do produto com um lenço.

## 5 CONCLUSÕES

Pelos ensaios de caracterização físicos e químicos da borracha natural é possível concluir que:

- a metodologia de limpeza interfere nas propriedades da borracha, pois, em alguns casos a abrasividade degrada a superfície da mesma;
- as análises realizadas com as amostras condicionadas com o detergente de cozinha neutro, produto que é utilizado pelas concessionárias de energia elétrica, evidenciam a degradação do equipamento, assim como a aplicação do produto multiuso;
- as análises realizadas com as amostras condicionadas com os produtos importados também evidenciam a degradação;
- foi possível o desenvolvimento de um produto de limpeza adequado para a aplicação em elastômeros;
- o produto desenvolvido adequado foi o PD03, que foi comparado com os produtos comerciais e nos ensaios de tração mecânica e resistividade superficial e volumétrica, não apresentou alterações significativas quando aplicado no lençol de borracha natural para baixa tensão.

Como as ferramentas de manutenção de redes energizadas ficam expostas à contaminação pelo ambiente e ou fluidos hidráulicos e lubrificantes é de grande importância que ocorra a limpeza adequada dos mesmos, para que estes produtos tenham sua vida útil prolongada.

## **6 TRABALHOS FUTUROS**

1. Caracterizar a interação de produtos de limpeza com outros equipamentos utilizados em redes energizadas.
2. Alterar as concentrações das formulações dos produtos PD01 e PD02 e avaliar sua possível utilização.
3. Realizar a caracterização com ensaios de dureza e resistência ao rasgo.

## 7 REFERÊNCIAS

- [1] MERINO, E. P. J. Avaliação da Degradação em Equipamentos de Proteção Utilizados na Manutenção de Redes Energizadas. Curitiba, junho de 2010, Dissertação de Mestrado em Engenharia – Universidade Federal do Paraná.
- [2] ASTM D 120-95. **Standard Specification for Rubber Insulating Gloves**, ASTM, Philadelphia, 1995.
- [3] ASTM D 1051. **Standard Specification for Rubber Insulating Sleeves**, ASTM, Philadelphia, 1995.
- [4] ASTM D 178. **Standard Specification for Rubber Insulating Matting**, ASTM, Philadelphia, 1995.
- [5] ANEEL, Agência nacional de energia elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acessado em 21-10-2013
- [6] LEÃO, R. GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica. <http://www.dee.ufc.br/~rleao>. Acessado no dia 28-11-2013.
- [7] KOWALSKI, E. L. Estado da arte em ferramentas e equipamentos para a manutenção de redes elétricas energizadas. 2008.
- [8] COPEL. Manual de instruções técnicas copel: manutenção de redes de distribuição. Módulo: procedimento de ensaios de ferramentas e equipamentos de linha viva, 2006.
- [9] TEREX RITZ. Catálogo de produtos 2012. Disponível em: <<http://www.terexritz.com>>. Acessado em 15-01-2014.
- [10] TANAKA, Y. **Structural Characterization of Natural Polyisoprenes: Solve the mystery of Natural Rubber Based on Structural Study**. Rubber Chemistry and Technology, v.74,3; pp: 335-375; jul/aug, 2001.
- [11] MORTON, M. **Rubber Technology**. 2º edição. ed. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1989.
- [12] OLIVEIRA, S M de. **Estudo de interatividade de cargas de látex para uso em material de linha viva**. Dissertação de mestrado, CEFET-PR CURITIBA 2004.

- [13] PLOENPIT, B.; WORAPONG P. Vulcanization of cis- and trans-polyisoprene and their blends: cure characteristics and crosslink distribution. **European Polymer Journal** 37 (2001) 417 – 427.
- [14] NAUTON, W. J. S. **Applied Science of Rubber**. Edward Arnold Publishers LTD, London, 1961.
- [15] JENSEN, W. B. **Lewis Acid-Base Interactions and Adhesion Theory**. Rubber Chemistry and Technology, v. 55, pp: 881-901, 1982.
- [16] HERTZ Jr, D. L. **Theory & Practice Of Vulcanization**. Elastomerics, November, 1984.
- [17] Morton, M. and Fetters, L. J. **Rubber Chem. Technol.** v. 48, 1975.
- [18] HOFMANN, W. **Rubber Technology Handbook**. [S.l.]: Hanser, 1980.
- [19] JORGE, R. M. et al. **Propriedades Dielétricas e Térmicas de Compósitos de Borracha Natural com Mica**. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, v. 1, p 43- 47, 2004.
- [20] BROWN, J. R., Hauser, E. A. **Chemical Structure of Vulcanized Rubber**. Industrial and Engineering Chemistry, v.30, n.11, 1938.
- [21] CALLISTER Jr, W. D. **Ciência de Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª edição, Ed.LTC, pp:357-388, 2002.
- [22] BLOW, C M *ET AL*. **Rubber Technology and Manufacture**. s.l. : Butterworths, 1982.
- [23] FRIED, JOEL R. **Polymer Science and Technology**. New Jersey : Prentice Hall PTR, 1995.
- [24]. DALL´ANTONIA, A. C. - **Estudo do Desempenho Mecânico e Térmico de Compostos de Borracha Natural (NR) de Diferentes Clones**, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasil (2003).
- [25]. WISNIEWSK, R.; **Látex e Borracha**, Informe Técnico No 4, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (1983).
- [26]. FERREIRA, M.; MORENO, R. B.; GONÇALVES, P. S.; MATTOSO, L. H. C. - **Evaluation of Natural Rubber from Clones of Hevea Brasiliensis**. Rubber Chemistry and Technology: March 2002, Vol. 75, No. 1, pp. 171-177.

- [27]. FRADE, A. A.; VALVERDE, R. V.; de ASSIS, R. V.; COUTINHO - NETTO, J.; FOSS, N. T. **Chonic phelebopathic cutaneus ulcer: a therapeutic proposal** - International Journal Dermatology, 40, p.238 (2001).
- [28] KOWALSKI, EDEMIR L. **Estudo da Borracha Natural por meio de técnicas de caracterização de dielétricos**. Curitiba : Tese de doutorado, 2006.
- [29] SILVA, J D C B K F. **Avaliação de propriedades de artefatos à base de borracha natural**. Rio de Janeiro : Dissertação de Mestrado, 2007.
- [30] MARINHO, JEAN R D. **Macromoléculas e Polímeros**. Barueri : Manole, 2005.
- [31] AKCELRUD, LENI. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. s.l. : Manole, 2007.
- [32] BROWN, R P, FORREST, M J, SOULAGNET, G. **Long-term and accelerated aging tests on rubber**. *Rapra Technology Ltd*. Report 110, Vol. 10, number 2, 2000.
- [33] SCHNABEL, W. **Polymer Degradation: Principles and Practical Applications**. New York : Hanser, 1992.
- [34] YAMASHIDA, DANIELA M. **Compostos de Borracha**. CETEA [Online]  
[Acesso em 28/10/2013] ISSN 0104-3781.  
[http://www.cetea.ital.org.br/cetea/informativo/v21n1/v21n1\\_artigo4.pdf](http://www.cetea.ital.org.br/cetea/informativo/v21n1/v21n1_artigo4.pdf)
- [35] TSE, M. F. **Ozone Cracking and Flex Cracking of Crosslinked Polymer Blend Compounds**. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 103, pp. 2183-2196,
- [36] GRASSIE, N E SCOTT, G. **Polymer Degradation and Stabilisation**. New York : Cambridge University Press, 1985.
- [37] RODRIGUES, F H A ET AL. **Ozonation of unstretched natural rubber film from Hevea brasiliensis studied by ozone consumption and <sup>13</sup>C NMR**. *Polymer Internacional*, Vol. 53, pp. 733-739, 2004.
- [38] IVAN, G E GIURGINCA, M. **Ozone destruction of some trans-polydienes**. *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 62, pp. 441-446, 1998.

- [39] LUCAS, P, ET AL. Crosslinking **of dienic elastomers resulting from ageing**: X-ray diffraction and refractometry measurements. Polym. Degr. Stab, Vol. 76, p.449. 2002
- [40] J.A.M Agnelli, Técnicas de caracterização utilizadas em degradação de materiais poliméricos. UFSCAR/DEMa, 2001.
- [41] R.F. Navarro, “Fundamentos de Reologia de Polímeros”, Editora da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1989.
- [42] CANEVAROLO JR, SEBASTIÃO V. **Ciência dos Polímeros**. s.l. : Artliber Editora, 2002
- [43]. PAOLI, M. A. **Degradação e estabilização de polímeros**. 1º. ed. [S.l.]: Artliber, 2009.
- [44] GRASSIE, N. E. SCOTT, G. **Polymer Degradation and Stabilisation**. New York : Cambridge University Press, 1985.
- [45] ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY - Wiley - New York: Interscience Publication, 1983. vol. 2
- [46] BORSATO, D.; MOREIRA, I.; GALÃO, O. F.; **Detergentes Naturais e Sintéticos**. Um Guia Técnico. 2ª Ed. Eduei, 2004.
- [47] PELIZZETTI, E.; PRAMAURO, E.; ANAL. Chim. Acta 1985, 169,1.
- [48] GEER, R.D.; EYLAR, E. H.; ANACKER, E. W.; J. Phys. Chem. 1971, 75, 369.
- [49] SAUNDERS , L.; Biochim. Biophys. Acta 1966, 125, 70.
- [50] ATTWOOD, D.; ELWORTHY, P. H.; KAYNE, S. B.; J. Phys. Chem. 1970, 74, 3529.
- [51] FENDLER, E. J.; DAY, C. L.; FENDLER, J.H.; J. Phys. Chem. 1972, 76, 3529.
- [52] KURZ, J. L.; J. Phys. Chem. 1962, 66 ,2239.
- [53] CANEVAROLO Jr, SV. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2003.

- [54] CLOUGH, R. L.; BILLINGHAM, N. C.; GILLEN, K. T. **Polymer Durability - Degradation, Stabilization, and Lifetime Prediction**. Chicago: American Chemical
- [55] SHACKELFORD, J.F. **Introduction to Materials Science for Engineers**, 4<sup>a</sup> ed; Prentice Hall Inc., 1996. Cap 11.
- [56] TIPLER, PAUL A. **Física Eletricidade e Magnetismo, Ótica**. Rio de Janeiro : LTC, 1999. Vol. 2.
- [57] CLOUGH, R L ET AL. **Polymer Durability**. Degradation, stabilization and lifetime prediction. 26th National Meeting of the American Chemical Society. Chicago ,1993.
- [58] MARK, J E ET AL. **Science and Techonolgy of Rubber**. s.l. : Elsevier Academic Press, 2005.
- [59] BROZE, G. **Handbook of detergentes**: Part A – properties. New York: Marcel Dekker, Inc., 1999
- [60] **ASTM D 257-93** Standard test methods for DC resistance or conductance of insulating materials.
- [61] SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C.B. **Química orgânica**: volume 1. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.
- [62] ASTM D 412 Standard methods of tension testing of vulcanized rubber.
- [63] MABE ENGINEERING SPECIFICATION ES – 366ª3025.
- [64] Tavares, R.G.; e colaboradores. **Importância da reposição hídrica em atletas: aspectos fisiológicos e nutricionais**. Revista Digital. Ano. 13. Num. 119. 2008